



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов
и технологий**

**А. В. СЕРЕБРЯКОВ
Д. А. ПАВЛОВ**

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ ТРУБ

Учебное пособие



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

А. В. Серебряков, Д. А. Павлов

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ ТРУБ

Учебное пособие

Рекомендовано методическим советом
Уральского федерального университета
для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки
22.03.02 — Metallургия

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2020

УДК 621.774.2(075.8)

ББК 34.641я73

С32

Рецензенты:

Смирнов С. В., д-р техн. наук, директор Института машиноведения УрО РАН;

Выдрин А. В., д-р техн. наук, проф., заместитель генерального директора по научной работе Российского научно-исследовательского института трубной промышленности

Научный редактор — канд. техн. наук, доц. *С. И. Паршаков*

На обложке использовано изображение с сайта <https://clck.ru/NMGV8>

Серебряков, А. В.

С32 Технология производства сварных труб : учеб. пособие / А. В. Серебряков, Д. А. Павлов ; Мин-во науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. — 104 с. ISBN 978-5-7996-3007-2

В учебном пособии рассмотрены физические основы сварки металлов. Представлены способы электросварки труб. Описаны типы калибровки валков и представлен расчет калибровки валков непрерывного формовочного стана. Рассмотрено производство труб малого и среднего диаметра на непрерывных ТЭСА, производство прямошовных труб большого диаметра и труб со спиральным швом.

Библиогр.: 9 назв. Табл. 3. Рис. 78.

УДК 621.774.2(075.8)

ББК 34.641я73

ISBN 978-5-7996-3007-2

© Уральский федеральный университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Историческая справка. Исторически сварные трубы появились раньше бесшовных. Первая стальная труба была изготовлена в первой половине XIX в. методом кузнечной сварки. Качество таких труб было низким. Бесшовные трубы стали изготавливать после изобретения в 1886 г. братьями Маннесман способа винтовой прошивки, а затем способа пилигримовой раскатки. На тот период качество бесшовных труб было выше, чем сварных, из-за отсутствия «слабого» места — шва. Так было до 30–40-х гг. XX в., когда появились новые способы сварки, обеспечившие повышение прочности сварных труб. Начиная с этого момента доля сварных труб в общем мировом производстве стальных труб растет: 1940 г. — 40 %; 1985 г. — 60 %; 1990 г. — 75 %; 2017 г. — 76 %.

Производство и потребление стальных труб [1]. В 2017 г. в мире выпущено свыше 174 млн т стальных труб. Выпуск бесшовных труб составил 42 млн т, выпуск сварных труб малого и среднего диаметра (до 406 мм) составил 109 млн т, труб большого диаметра — около 23 млн т (рис. 1). В мировой трубной промышленности доминирует Китай. На его долю приходится 54–56 % мирового производства стальных труб.

Нефтегазовая отрасль является ключевой для трубников. На нее приходится половина мирового потребления стальных труб (рис. 2). Этот сектор включает трубы нефтегазового сортамента для обустройства скважин: бурильные, обсадные и насосно-компрессорные трубы (ОСТГ) — и трубы большого диаметра для магистральных нефте- и газопроводов.

В настоящее время все шире используется горизонтальное бурение, требующее значительно большего расхода труб на одну скважину, чем при использовании традиционных технологий. Например, по данным американской дистрибьюторской компании Eagle Pipe, в США на одну скважину используется в среднем 479 т нефтегазовых труб в месяц.

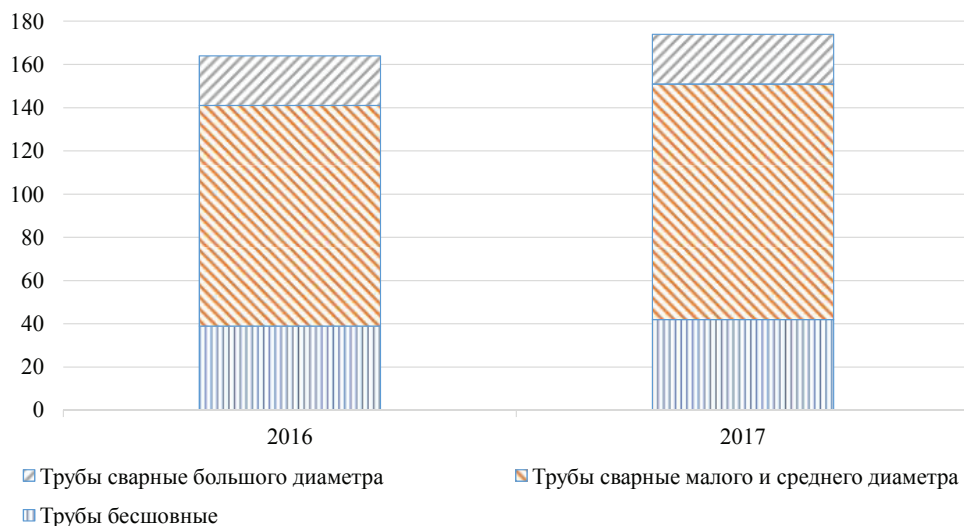


Рис. 1. Мировое производство труб

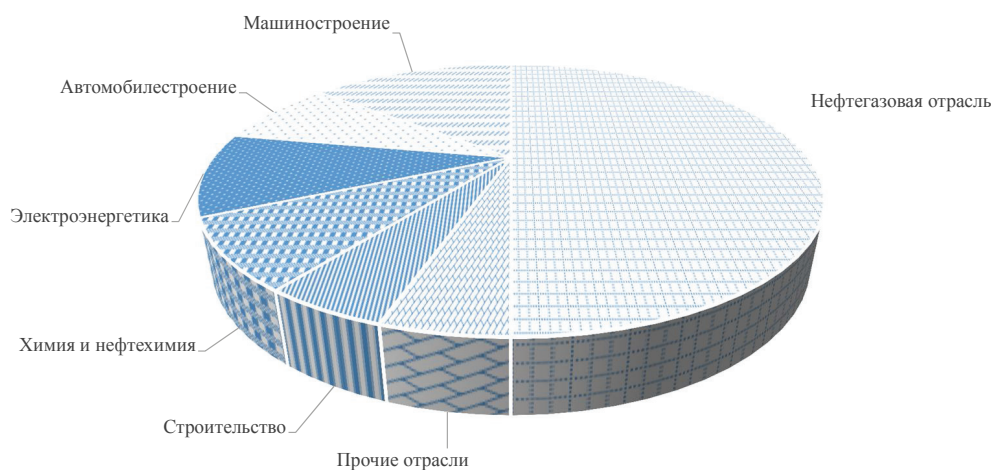


Рис. 2. Мировое потребление труб по отраслям

Традиционно важными потребителями трубной продукции являются энергетическая, химическая и нефтехимическая промышленность. На энергетический сектор приходится около 10% мирового спроса на трубы, на химию и нефтехимию — порядка 8%.

К благоприятным рынкам для производителей труб относится автомобилестроение, доля которого составляет 8%. Здесь рост обусловлен как общим увеличением мирового производства автомобилей, так

и расширением масштабов использования труб в конструкциях современных машин.

Еще около 14 % труб в мире используется в машиностроении при выпуске других видов промышленной продукции.

Строительный сектор, на который сейчас приходится не более 5 % глобального спроса на трубы, быстро прибавляет. При этом наиболее перспективным направлением признается применение трубной продукции в металлоконструкциях.

Сортамент и область применения сварных труб. Сварные трубы изготовляют малых (5–114 мм), средних (114–480 мм) и больших (480–2520 мм) диаметров с толщиной стенки 0,5–48 мм [2].

Трубы малых диаметров применяют в автомобильной и тракторной промышленности, сельскохозяйственном, энергетическом, химическом и нефтяном машиностроении, а также для изготовления трубчатых электронагревателей, велосипедов и в других конструкциях.

Трубы средних диаметров 159–480 мм используют для паропроводов низкого давления, для газопроводов и нефтепроводов, а также для трубопроводов, при изготовлении деталей конструкций различного назначения для мелиорации, водоснабжения, в коммунальном хозяйстве и т. д.

Прямошовные и спиралешовные трубы большого диаметра предназначены для магистральных трубопроводов газа, нефти, нефтепродуктов, а также для водо- и паропроводов низкого давления.

Сопоставление размеров сварных и горячекатаных труб представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сопоставление размеров сварных и горячекатаных труб

Параметр	Сварные	Горячекатаные
D , мм	4...2500	(18) 25...550
S , мм	0,10...50	2,5...75
$(D/S)_{\max}$	200	50

Как видно, размерный ряд сварных труб шире: от капиллярных труб до труб большого диаметра. Но следует отметить, что марочный сортамент сварных труб ограничен, т. к. существует проблема сварки сталей с повышенным содержанием % С и легирующих элементов.

Преимущества сварных труб

1. Более простое оборудование трубоэлектросварочного агрегата (ТЭСА) по сравнению с трубопрокатным агрегатом (ТПА). Меньше технологических операций при производстве сварных труб по сравнению с производством бесшовных труб.

2. Более высокие технико-экономические показатели:

- производительность выше, т. к. процесс непрерывный за счет стыковой сварки отдельных бунтов;
- ниже расходный коэффициент металла;
- стоимость сварных труб на 15...20 % ниже, чем бесшовных;
- организация производства возможна в более короткие сроки и при меньших капитальных затратах;
- сварные трубы практически не имеют эксцентричной разностенности.

3. Более высокое качество поверхности, особенно внутренней (нет плёна). Для бесшовной трубы зона ликваций и рыхлости слитка находится на внутренней поверхности трубы, а у сварной зона — в середине толщи стенки (рис. 3).

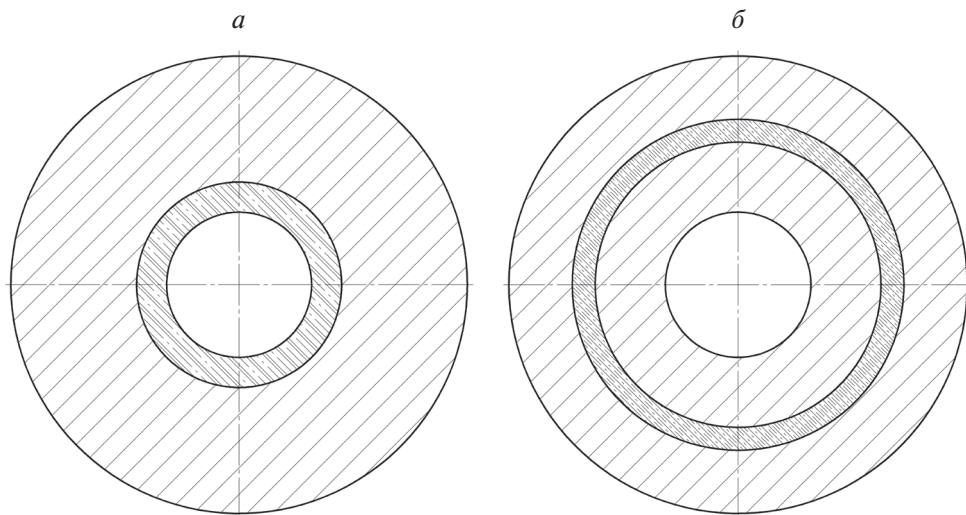


Рис. 3. Зона ликваций и рыхлости слитка:

a — бесшовная труба; *б* — сварная труба

4. Более высокая точность размеров труб. Практически отсутствует поперечная (эксцентричная) разностенность труб.

Недостаток сварных труб: наличие сварного шва. Считают, что шов уменьшает допустимое напряжение на 10 ...15 %.

На современных трубоэлектросварочных станах получают трубы с высокой прочностью шва. Стандарты API предусматривают одинаковые технические требования как для бесшовных, так и для сварных труб нефтяного сортамента. За рубежом сварные трубы используют вместо бесшовных в нефтедобывающей, энергетической промышленности и в машиностроении.

Основные способы повышения прочности шва: холодная пластическая деформация; термообработка (трубы или зоны шва); легирование металла шва; удаление грата (наружного, внутреннего). Грат — местное утолщение в зоне сварного соединения, связанное с выдавливанием металла при сдавливании (осаживании) свариваемых кромок. В грат выдавливаются окислы Fe, образующиеся при нагреве металла.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

1.1. Основные способы соединения металлов

Сварка трением — разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением при скольжении поверхностей друг относительно друга. При этом происходит пластическая деформация микровыступов с образованием ювенильных участков, между которыми формируются металлические связи. Используется для присоединения фитингов (ниппели, муфты) обсадных, буровых, насосно-компрессорных труб.

Пайка — заполнение зазора между поверхностями легкоплавким металлом, обладающим хорошей адгезией к свариваемому металлу. Например, свертно-паяные трубы изготавливают путем сворачивания омедненной стальной ленты в трубу с последующим нагревом.

Холодная сварка — сварка давлением (статическим, вибрационным) с пластическим деформированием соединяемых поверхностей заготовок без дополнительного нагрева внешними источниками тепла. Этот способ сварки основывается на пластической деформации металлов в месте их соединения. Сварка происходит при нормальных температурах в результате схватывания — образования металлических связей. Холодная сварка применяется в электротехнической промышленности для соединения алюминиевых и медных проводов. Как разновидность холодной сварки применяется ультразвуковая — сварка давлением с применением ультразвуковых колебаний.

Сварка давлением с нагревом и сварка оплавлением широко применяются при производстве сварных труб. Физические основы и применение их при производстве сварных труб подробно рассмотрены далее.

1.2. Физические основы сварки металлов

Согласно ГОСТ 2601–84, сварка — это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном нагреве, или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании связей между атомами на соединяемых поверхностях заготовок. Любой металл можно представить как совокупность положительно заряженных ионов (расположенных в узлах кристаллической решетки) и свободных (валентных, «коллективизированных») электронов, находящихся во взаимодействии с ионами. Это взаимодействие (металлические связи) и определяет прочность металлического тела.

При сближении поверхностей двух металлических тел под действием внешних сил возможно возникновение такого взаимодействия между этими поверхностями, т. е. возникновение металлических связей. В результате возможно получение соединения, не уступающего по прочности основному металлу.

Процесс создания сварного соединения протекает в две стадии. На первой стадии необходимо обеспечить образование физического контакта между соединяемыми поверхностями, т. е. сблизить поверхности на расстояние действия сил межатомного взаимодействия (около 3 \AA , $1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ мм}$). Образование физического контакта между поверхностями достигается либо за счет расплавления металла, либо в результате его пластической деформации. На второй стадии осуществляется электронное взаимодействие между атомами соединяемых поверхностей. В результате образуется металлическая связь и поверхность раздела исчезает.

Исходя из физической сущности процесса образования сварного соединения, различают два основных вида сварки: сварка давлением и сварка плавлением.

Механизм сварки давлением включает несколько стадий: соприкосновение свариваемых поверхностей; разрушение на поверхностях окисных и адсорбированных пленок; активирование поверхностных слоев (за счет деформации и/или нагрева свариваемых металлов); образование металлических связей между атомами на соединяемых поверхностях. Схема образования соединения при сварке давлением представлена на рис. 4.

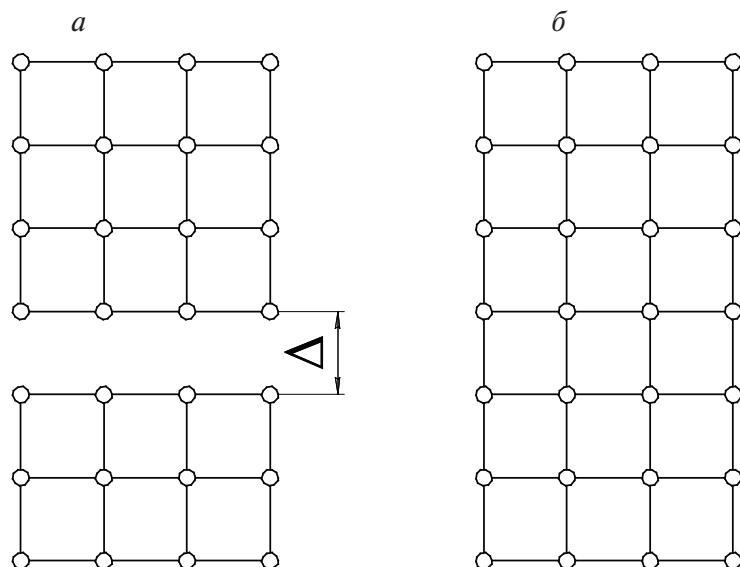


Рис. 4. Схема образования соединения двух монокристаллов с идеально чистыми и гладкими поверхностями:

a — кристаллы до соединения; *б* — кристаллы после соединения

Механизм сварки плавлением. При сварке плавлением установление металлической связи между атомами происходит в момент образования общей ванны жидкого металла между свариваемыми поверхностями. Затем в результате охлаждения жидкий металл кристаллизуется, причем в первую очередь вблизи стенок, отводящих тепло. В процессе кристаллизации металлические связи между основным металлом и закристаллизовавшимся металлом сварочной ванны сохраняются. Схема сварки плавлением представлена на рис. 5.

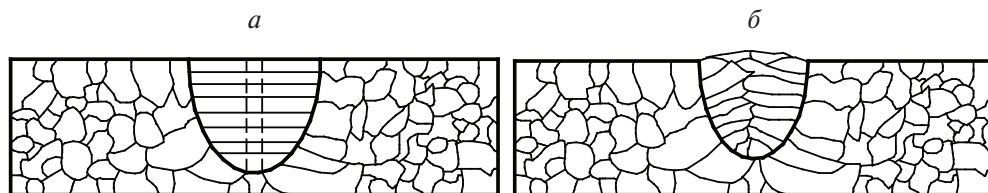


Рис. 5. Схема сварки плавлением:

a — исходное сопряжение торцов двух металлических кусков (пунктирная линия) и область их местного расплавления (заштрихованная зона);

б — сварное соединение после затвердевания (кристаллизации) жидкого металла

1.3. Связь между давлением и температурой сварки

При сварке давлением сближение атомов (создание физического контакта) и активация поверхности достигается за счет пластической деформации соединяемых тел под действием внешней силы (давления). Кроме того, активация поверхности достигается, если к границе поверхности раздела подвести тепловую энергию, т. е. нагреть соединяемые части.

Взаимосвязь между давлением и температурой сварки для технически чистого железа представлена в виде графика на рис. 6.

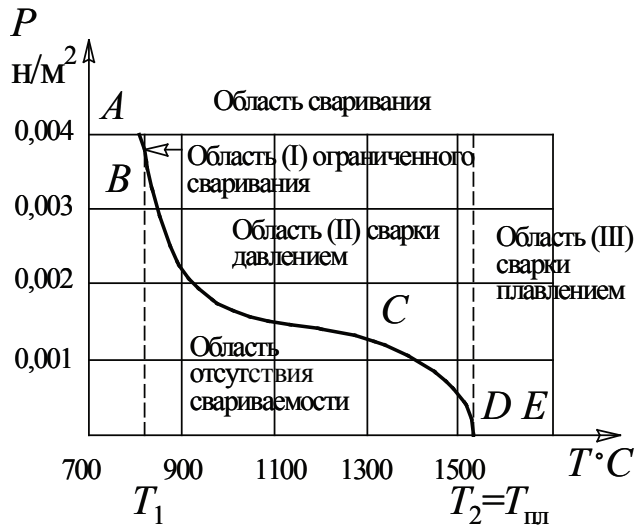


Рис. 6. Зависимость между температурой и давлением, необходимыми для сварки технически чистого железа

Кривая *ABCDE* разделяет поле технологических параметров *P* и *T* на области получения сварного соединения со свойствами, близкими к свойствам свариваемого металла (выше этой кривой), и область соединений с низкими свойствами или полным отсутствием сваривания (ниже кривой *ABCDE*), условно названную областью отсутствия сваривания.

Штриховыми вертикальными линиями разделены температурные области. Так, при температуре металла ниже T_1 для получения качественных сварных соединений требуется очень большое давление из-за высокого значения сопротивления деформации металла. Поэтому область I можно назвать областью ограниченного сваривания.

В пределах температур T_1 и T_2 для осуществления сварки необходимо прикладывать внешнюю сдавливающую силу (область II), причем давление P по мере увеличения температуры снижается. Это область практически применяемых режимов сварки давлением.

Выше температуры T_2 кривая совпадает с осью абсцисс — никакого внешнего давления прикладывать не надо ($P = 0$). При этих условиях металл переходит в расплавленное состояние. Сварка при таких параметрах носит название сварки плавлением.

1.4. Тепловые процессы и структурные изменения в металле при сварке

Под тепловыми процессами при сварке понимают процессы, приводящие к изменению температуры металла за счет тепла, подводимого от источника сварочного нагрева, распространения тепла в металле и отвода его в окружающую среду. Изменение температуры определяет протекание сопутствующих процессов в металле, таких как структурные превращения, объемные изменения, появление упруго-пластических деформаций. Эти процессы оказывают влияние на качество сварного соединения.

В рассмотренных способах сварки большая часть тепла уходит в околошовную зону, т. е. в металл, меньшая — в окружающую среду.

На рис. 7 представлено распределение температуры по периметру трубы (а, б) и вдоль трубы (в).

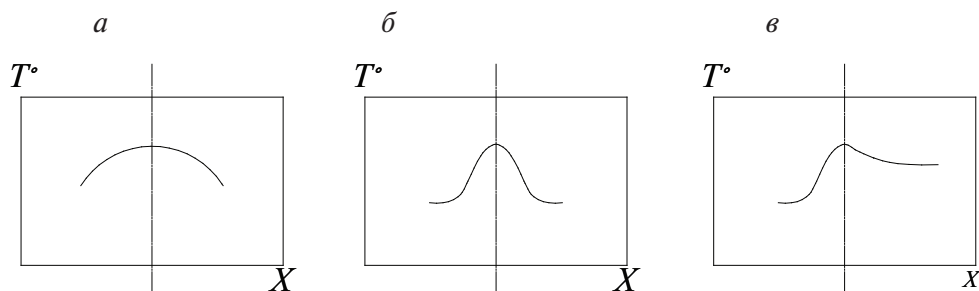


Рис. 7. Распределение температуры:
a — сварка давлением; *б* — сварка оплавлением;
в — резкий разогрев, медленное охлаждение

Наибольшая скорость нагрева имеет место при сварке сопротивлением — сотые доли секунды.

Структурные изменения в металле при сварке обусловлены тепловым режимом. Нагрев и охлаждение при сварке — это процесс своеобразной термообработки. Особенности этой термообработки: перегрев (расплавление), кратковременность нагрева, высокие скорости нагрева и охлаждения, местный (локальный) нагрев. Структурные изменения зависят от марки стали, способа и режима сварки.

Виды структурных изменений при сварке труб:

- формирование литой структуры за счет расплавления металла;
- неполные фазовые превращения, возможность фиксации неравновесных структур — из-за кратковременности нагрева;
- локализация структурных изменений металла в шве и околошовной зоне — из-за локальности нагрева;
- рекристаллизация — появление равноосной структуры взамен текстуры прокатки, а иногда рекристаллизационный рост зерна;
- возможно возникновение закалочных структур из-за ускоренного охлаждения.

При содержании $C > 0,25\%$ в углеродистых и малолегированных сталях возникают закалочные структуры (мартенсит, имеющий игольчатое строение). В результате снижается пластичность, ударная вязкость, повышаются предел прочности и остаточные напряжения. Для устранения подобных явлений применяют рекристаллизационный или нормализационный отжиг, закалку по винтовой линии. Такая закалка дает фронт сжимающих остаточных напряжений, которые препятствуют образованию магистральных трещин вдоль образующей трубы в околошовной зоне.

Структура металла шва и околошовной зоны после сварки оплавлением показана на рис. 8 [3].

По степени воздействия высоких температур на металл зона термического влияния делится на участки: неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации, синеломкости.

Участок неполного расплавления является переходным от металла шва до основного металла. В этой области происходит сплавление металла шва с основным металлом, поэтому от свойств этого участка зависит во многом качество сварного соединения.

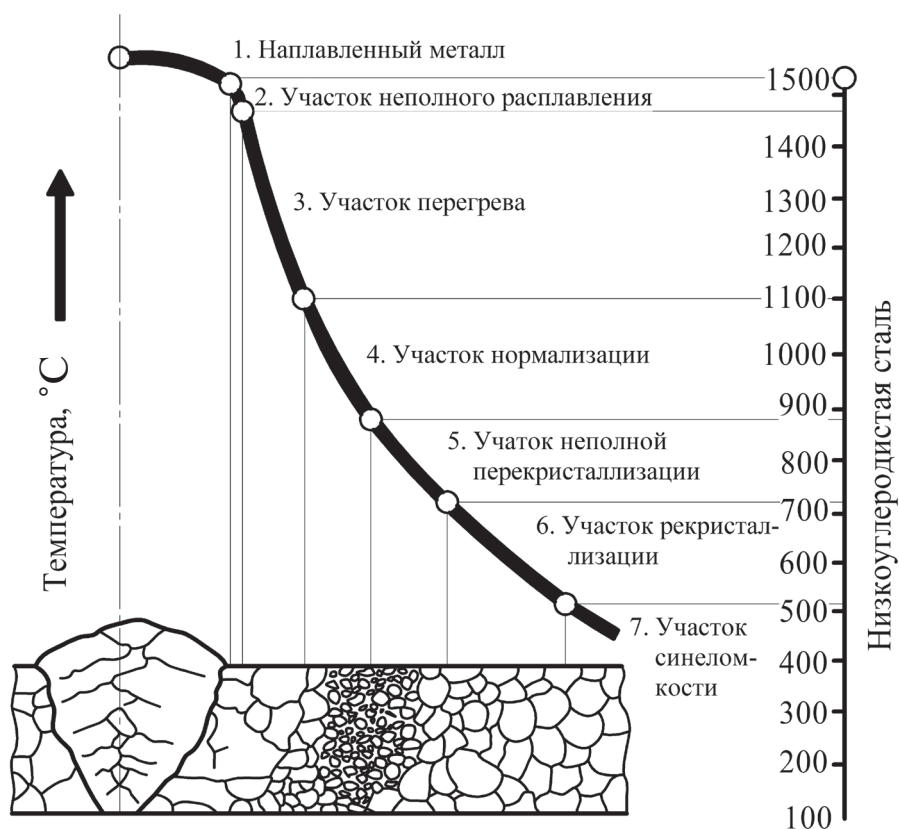


Рис. 8. Структура металла шва и околошовной зоны после сварки оплавлением

Участок перегрева является зоной значительно перегретого основного металла (1100–1500 °С) с крупнозернистой структурой. Для этого участка характерно понижение пластичности и ударной вязкости. В сталях с повышенным содержанием углерода в этой зоне могут образовываться закалочные структуры.

Участок нормализации нагрет от 930 до 1100 °С. Металл находится нагретым до такой температуры недолго и в процессе перекристаллизации формирует мелкозернистую структуру.

Участок неполной перекристаллизации является областью, нагретой до 720–850 °С. Для этого участка характерно неполное изменение структуры металла. На данном участке вокруг крупных зерен феррита находятся мелкие зерна феррита и перлита, образовавшиеся в про-

цессе перекристаллизации. На этом участке металл не проходит полную перекристаллизацию.

Участок рекристаллизации — область металла, нагретого до 450–720 °С. Этот участок можно наблюдать при сварке сталей, подвергавшихся пластическим деформациям (при сварке проката). На этом участке происходит восстановление зерен, разрушенных при деформации.

Последний участок синеломкости лежит в промежутке температур от 200 до 450 °С. На участке можно увидеть синие цвета побежалости. На этом участке не происходит структурных изменений, но для него характерно снижение пластичности металла при одновременном повышении прочности.

После сварки давлением может возникнуть подобная структура металла, в которой отсутствуют зоны 1 и 2.

1.5. Классификация способов сварки труб

Способы сварки можно классифицировать по видам источников тепла — энергии, подводимой к кромкам трубной заготовки.

1. Электрическая дуга прямого действия: дуга горит между электродом и кромками заготовки. Сварочная ванна образуется только из металла трубы либо из металла трубы и электрода.

2. Электрическая дуга непрямого действия: дуга горит между тугоплавкими электродами в среде инертного газа (аргон, гелий). Сварочная ванна образуется из металла трубы.

3. Тепловое воздействие электрического тока на металл (по закону Джоуля — Ленца $Q = R \cdot I^2 \cdot t$, Дж; где R — сопротивление, Ом; I — сила тока, А; t — время, с): сварка сопротивлением; сварка токами повышенной и высокой частоты.

4. Электронно-лучевая сварка.

5. Плазменная сварка.

6. Лазерная сварка.

7. Энергия ультразвуковых колебаний (УЗК-сварка).

Перечисленные способы сварки подробно рассмотрены в разделе 2.

Классификация способов сварки, применяемых при производстве труб, представлена на рис. 9.



Рис. 9. Классификация способов сварки труб

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое сварка?
2. Что понимают под тепловыми процессами при сварке?
3. Каково распределение температуры по периметру трубы?
4. Опишите основные участки околошовной зоны после сварки.
5. Как классифицируют способы сварки?

2. СПОСОБЫ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ТРУБ

Электросварочные станы различают по способу нагрева кромок: токами высокой частоты (450–500 кГц); сопротивлением переменным током (50–700 Гц) или постоянным током (до 18 кА при напряжении 2–4 В); индукционным (2–8 кГц) и дуговым нагревом кромок неплавящимся электродом.

2.1. Сварка труб токами высокой (радиотехнической) частоты

Сварку токами высокой частоты (ТВЧ) до 500 кГц применяют для производства труб диаметром 6–529 мм со стенкой толщиной 0,5–10 мм. Основные преимущества этого способа: возможность значительного увеличения скорости сварки труб (до 120 м/мин) из углеродистых и легированных сталей, цветных металлов; получение труб с качественным швом из горячекатаной нетравленной ленты, значительное уменьшение расхода электроэнергии на тонну готовых труб; осуществление сварки труб из различных металлов на одном сварочном оборудовании. Это сделало целесообразным перевод большого числа действующих трубоэлектросварочных станков на сварку токами высокой частоты. Большинство из вновь введенных в эксплуатацию трубоэлектросварочных установок имеет высокочастотное сварочное оборудование.

Применение тока частотой 450–500 кГц для сварки труб основано на том, что ток при этой частоте идет по пути не наименьшего омического сопротивления, а наименьшего индуктивного сопротивления. Для увеличения индуктивности цепи периметра заготовки с целью концентрации тока в кромках заготовки внутрь заготовки вводят ферромагнитный (ферритовый) сердечник.

При радиочастотной сварке труб электрический ток, проходящий по кромкам трубной заготовки, благодаря эффекту близости и поверхностному эффекту концентрируется непосредственно на соединяемых поверхностях. С увеличением частоты тока эффект близости и поверхностный эффект усиливаются, вследствие чего на кромках трубной заготовки достигается максимальная концентрация тока. Сварка труб токами радиотехнической частоты характеризуется высокой степенью концентрации энергии при нагреве металла, который происходит за десятые или даже сотые доли секунды.

Ток высокой частоты подводится к кромкам трубной заготовки двумя способами: контактным и индукционным. На рис. 10 показаны схемы с контактным (*а*) и индукционным (*б*) подводом тока высокой частоты.

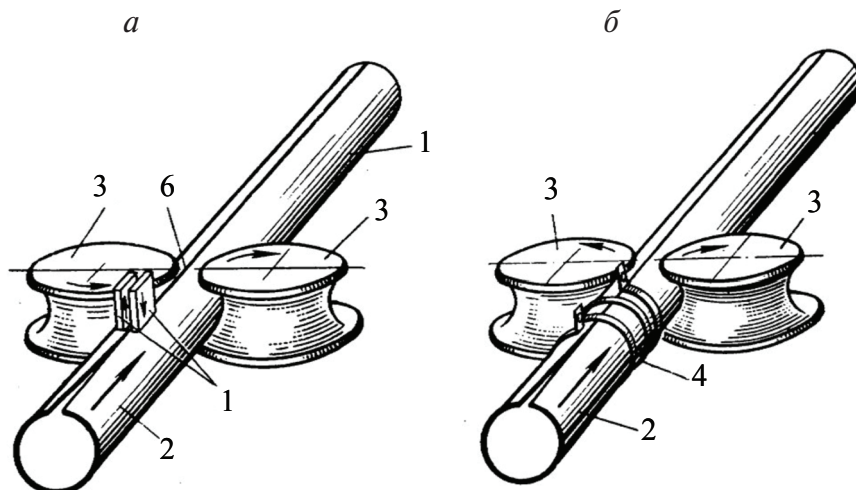


Рис. 10. Схема подвода тока высокой частоты к кромкам трубной заготовки:

а — контактный; *б* — индукционный:

1 — сваренная труба; 2 — сформованная заготовка; 3 — сварочные валки;
4 — индуктор; 5 — скользящий контакт; 6 — место сварки

При высокочастотной сварке с контактным способом подвода ТВЧ, протекая по пути, параллельному кромкам трубной заготовки, разогревает их до температуры сварки. Шовосжимающие валки сдавливают и соединяют (сваривают) кромки между собой в пластическом состоянии. Однако при сварке труб диаметром менее 20–25 мм меньшее сопротивление может быть на пути тока по периметру трубы, а не вдоль

кромки. В этом случае для обеспечения прохождения тока вдоль кромок сварной заготовки внутрь последней в зону сварки помещают магнитный сердечник (ферритный стержень), увеличивающий индуктивное сопротивление по периметру трубы.

При индукционном способе передачи энергии сварку заготовки осуществляют кольцевым или щелевым индуктором. Индуцируемый в заготовке ток, проходя по периметру, достигает максимальной концентрации на свариваемых кромках. Для усиления эффекта нагрева внутрь трубы обычно вводят магнитный сердечник, набранный из ферритных колец.

Выбор частоты тока для сварки зависит от толщины стенки труб, качества подготовки кромок и др. Например, для станков ТЭСА 10-76 оптимальна частота 440 кГц, с увеличением толщины стенки трубы частоту сварочного тока снижают.

Передача энергии к кромкам свариваемой заготовки через скользящие контакты — более эффективный способ по сравнению с индукционным для труб среднего и большого диаметра. При близких значениях скоростей сварки потребляемая мощность при индукционном способе подвода энергии в два раза выше, чем при контактном. С ростом диаметра и толщины стенки свариваемых труб необходимая для индукционной сварки мощность еще более возрастает (примерно на 40–50 %), при этом влияние изменения толщины стенки наиболее существенно. Для труб диаметром больше, чем 200 мм, индукционный способ сварки обычно не применяют из-за значительного снижения КПД.

Нагрев кромок трубной заготовки ТВЧ позволяет осуществлять сварку как с оплавлением, так и без оплавления кромок; при этом известны три режима нагрева кромок:

- 1) температура кромок свариваемой заготовки ниже температуры плавления металла; давление на кромки в сварочных валках должно быть достаточным для того, чтобы вызвать значительную деформацию кромок, разрушение и удаление оксидной пленки из сварного шва;

- 2) температура кромок свариваемой заготовки в точке их схождения достигает температуры плавления металла; при обжатии кромок в шовсжимающих валках жидкий металл с оксидами удаляется (выдавливается);

- 3) температура кромок до точки их схождения достигает температуры плавления металла, а на стыке кромки дополнительно подогреваются; в дальнейшем при схождении кромок происходит интенсивный выброс оплавленного металла с разрушением оксидов и удалением их из зоны шва.

Выбор того или иного режима ведения сварочного процесса зависит от свойств металла трубы, качества поверхности заготовки и требований, предъявляемых к внутреннему грату. Если на поверхности металла имеются плотные тугоплавкие оксиды, например у нержавеющих сталей, то для их удаления из зоны шва наиболее эффективен третий режим сварки.

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются при всех режимах. Однако при первом режиме давление на свариваемые кромки должно быть больше, чем при сварке с расплавлением, что вызывает образование ровного, но значительного по величине внутреннего грата. При толщине стенки трубы 1,5–2,0 мм высота грата достигает 0,8–1,0 мм. Поэтому целесообразно вести процесс с расплавлением в точке схождения кромок. Давление, создаваемое сварочными валками, в этом случае значительно ниже, а величина грата не превышает 0,25–0,3 мм. Качество сварного соединения зависит от скорости сварки, с ее ростом сокращается время нагрева и ширина зоны нагрева кромок, а также период интенсивного окисления металла, что ведет к повышению качества сварки и уменьшению внутреннего грата.

Изменение угла схождения кромок (расстояния между ними) существенно влияет на электрические параметры сварки. С уменьшением угла схождения кромок и сокращением расстояния между ними интенсивность нагрева возрастает, что позволяет увеличить скорость сварки.

На большинстве установок подвод тока к кромкам осуществляется обычно с помощью вращающихся дисков, стойкость которых значительно выше, чем скользящих.

Один из основных недостатков труб, изготавливаемых сваркой ТВЧ, — относительно большой внутренний грат (до 60 % толщины стенки). Кроме того, при производстве труб малого диаметра практически невозможна установка магнитного сердечника для увеличения индуктивного сопротивления по периметру трубы [4].

2.2. Индукционная сварка труб

Индукционную сварку труб применяют для производства водогазопроводных и конструкционных труб диаметром от 21,5 до 219 мм.

Принципиальная схема индукционной сварки труб приведена на рис. 11. Кромки трубной заготовки, сформованной из рулонной лен-

ты, движутся под индуктором, постепенно разогреваются и при температуре сварки сдавливаются шовосжимающими валками. Для нагрева применяют плоский индуктор с магнитопроводом. Магнитный поток, создаваемый током индуктора, пересекает трубную заготовку перпендикулярно ее поверхности. Индуцируемый ток концентрируется под индуктором, течет вдоль кромок, нагревая их до температуры сварки.

Подвод энергии к трубной заготовке осуществляется бесконтактным способом. Это позволяет изготавливать трубы из горячекатаной ленты без специальной обработки кромок.

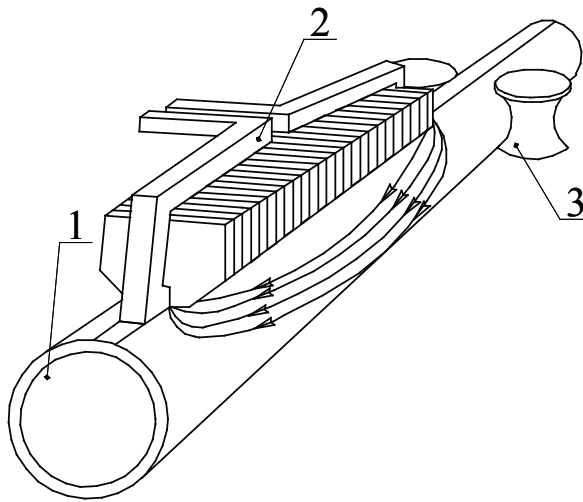


Рис. 11. Принципиальная схема индукционной сварки труб:

1 — сформованная заготовка; 2 — линейный индуктор с магнитопроводами; 3 — сварочные валки

В зависимости от толщины стенки и производительности стана нагрев кромок трубной заготовки осуществляют одним или двумя индукторами. Частота сварочного тока определяется в зависимости от применяемого материала заготовки и толщины стенки и должна обеспечить проникновение тока на всю толщину кромки трубной заготовки.

Одним из важнейших параметров процесса индукционной сварки труб, влияющим на формирование шва и его структуру, является температура нагрева кромок: с повышением температуры уменьшается требуемое давление осадки.

Исследованиями [5] установлено, что при температуре 1380–1420 °С окислы железа на кромках трубной заготовки находятся в жидком со-

стоянии и при осадке легко выходят за пределы основного сечения свариваемых кромок. Большой градиент температур между нагретым и холодным участками трубной заготовки создает условия для преимущественной пластической деформации нагретых кромок непосредственно в стыке и околостыковой зоне, что обеспечивает получение качественного сварного соединения. Давление при этом должно быть в пределах от 34,3 до 88,0 МПа, а величина осадки — 0,7–1,3 от толщины стенки свариваемых труб.

Нагрев кромок трубной заготовки при индукционной сварке осуществляется на сравнительно большом расстоянии. Расстояние от последней клетки с разрезной шайбой формовочного стана до сварочного калибра достигает 3 м, вследствие чего станы чувствительны к настройке и качеству штрипса. Это часто приводит к изменению температуры и ее распределения на кромках по длине штрипса во время сварки, что в сильной мере влияет на качество шва.

Увеличение температуры нагрева кромок снижает сопротивление осадки кромок трубной заготовки, что уменьшает давление на кромки и вызывает снижение прочности шва.

Снижение температуры нагрева увеличивает давление на кромки, что способствует хорошему сжатию кромок, однако низкая температура не обеспечивает должной свариваемости из-за присутствия на кромках неоплавленных окислов.

Регулировка усилия осадки кромок шовосжимающими валками во время работы стана снижает стабильность качества сварного шва и усложняет работу сварщика, поэтому необходимо вести нагрев кромок с неизменной температурой, что возможно благодаря установке на станах системы автоматического регулирования температуры.

Для получения качественной сварки достаточно нагреть до сварочной температуры каждую кромку трубной заготовки на ширину 0,5–1,3 от толщины стенки. Зона нагрева зависит от ширины индуктирующего провода индуктора и времени нагрева. Зазор между кромками под индуктором должен быть минимальным. Наилучшие условия нагрева обеспечиваются при плотно сжатых кромках, в этом случае объемы нагретого металла на каждой из кромок максимальны и наиболее высокая температура будет непосредственно на них.

При индукционной сварке всех размеров труб из малоуглеродистых сталей качественный шов может быть получен при следующем режиме:

- температура нагрева кромок трубной заготовки 1380–1450 °С;
- величина осадки кромок 0,5–1,3 от толщины стенки трубы;
- давление осадки 39–88 МПа.

Большое влияние на величину мощности, потребляемой сварочным устройством, оказывает величина зазора между индуктором и кромками трубной заготовки. Для сокращения расхода мощности сварочного устройства нужно сделать этот зазор как можно меньше.

Преимущества способа индукционной сварки:

- использование горячекатаного штрипса без предварительной очистки от окалины и специальной обработки торцов кромок;
- изготовление тонкостенных труб и большая скорость сварки (до 90 м/мин);
- отсутствие непосредственного контакта токоподводящих электродов с трубой.

Недостатки способа индукционной сварки:

- невозможность сварки тонкостенных труб с толщиной стенки меньше 1,5 мм (это связано с проблемой обеспечения устойчивости нагретой зоны кромок, для чего необходимо создать индуктор с магнитопроводом шириной менее 10 мм);
- зависимость стабильности процесса сварки от колебаний зазора между трубой и индуктором, что предъявляет повышенные требования к точности размеров сформованной заготовки;
- возможность расслоения металла в области кромок из-за наличия примесей в виде оксидов и сульфидов.

2.3. Сварка труб сопротивлением

Сварка сопротивлением применяется для производства труб диаметром от 5 до 529 мм с толщиной стенки от 0,4 до 20 мм. Материал труб — углеродистые и низколегированные стали. Для сварки сталей с повышенным содержанием углерода и легированных сталей перлитного класса используются специальные режимы сварки и охлаждения для предотвращения закалки околошовной зоны.

Сварочный ток подводится к кромкам полосы контактными способом при помощи вращающихся электродных колец, изолированных друг от друга и соединенных с вторичной обмоткой сварочного транс-

форматора. Электродные кольца и шовсжимающие валки сварочной клетки создают замкнутый калибр.

На рис. 12 приведена схема электросварки труб методом сопротивления. Постоянный или переменный электрический ток подводится к кромкам трубной заготовки (6) с помощью электродных колец (1), разделенных между собой изолятором (2). Кромки сформированной трубной заготовки, попадая в зазор между электродными кольцами, нагреваются. Под давлением шовсжимающих валков (3) и электродных колец, образующих замкнутый сварочный калибр, кромки трубы свариваются.

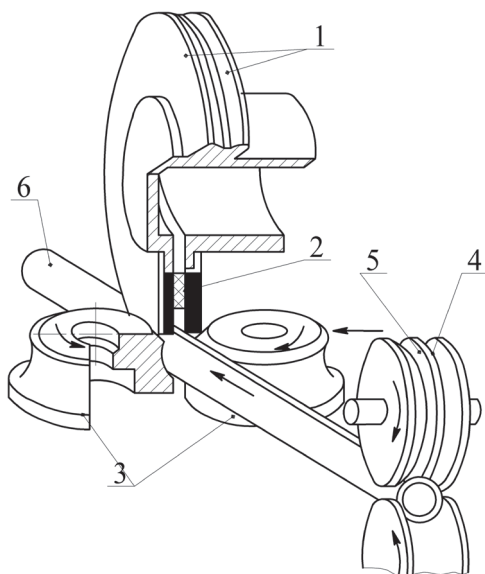


Рис. 12. Схема сварки труб сопротивлением:

1 — вращающиеся электроды; 2 — изолятор; 3 — шовсжимающие валки; 4 — валки последней формовочной клетки; 5 — направляющая шайба (разрезная); 6 — труба

Под действием усилий со стороны сжимающих валков и электродных колец кромки трубной заготовки сближаются. Через электродные кольца к заготовке подается электрический ток напряжением в несколько вольт и силой тока, достигающей десятка тысяч ампер. Сопротивление стыка кромок трубной заготовки значительно больше, чем сопротивление сплошного тела трубы, поэтому при прохождении электрического тока кромки разогреваются до более высокой темпе-

ратуры. Приложение давления от шовосжимающих валков и электродных колец обеспечивает сварку кромок заготовки. Чаще всего используется переменный сварочный ток частотой от 50 до 400 Гц (иногда до 700 Гц). Скорость сварки от 30 до 60 (90) м/мин.

При сварке труб методом сопротивления с использованием переменного тока 50–700 Гц неизбежно возникает периодическая неоднородность качества сварного шва в результате синусоидального изменения величины тока [4, 5]. Поэтому для производства труб диаметром 10–20 мм с толщиной 0,7–1 мм используют сварку постоянным током. Трубы, сваренные постоянным током, отличаются высоким качеством, имеют минимальный грат (высотой 0,15–0,25 мм).

Большое влияние на качество сварки оказывает точное совпадение стыка кромок с зазором между электродными кольцами, что определяет симметричность нагрева кромок трубной установки (рис. 12).

Преимущества способа сварки сопротивлением:

- широкий сортамент труб по толщине стенки и диаметру;
- более простое и дешевое сварочное оборудование;
- более низкие удельные производственные затраты при производстве труб повышенного диаметра.

Недостатки способа сварки сопротивлением:

- необходимость предварительной подготовки кромок полосы (очистка от заусенцев и окалины);
- большой грат (до 0,5 толщины стенки);
- износ электродных колец, приводящий к нарушению электрического контакта и стабильности процесса сварки;
- ограниченный марочный сортамент труб.

2.4. Аргано-дуговая сварка труб

Дуговую сварку с защитой дуги инертным газом (гелием или аргонном) применяют для получения труб диаметром 4–426 мм с толщиной стенки 0,2–5,0 мм из высоколегированных сталей (коррозионно-стойких и жаропрочных), а также из ряда цветных металлов (алюминия, магния и т. д.) и их сплавов. Скорость сварки труб в зависимости от материала, размера свариваемых труб и применяемой защитной атмосферы составляет 0,5–8 м/мин.

При дуговой сварке в среде инертного газа электрическая дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и свариваемой трубой. Для подвода тока и подачи инертного газа применяют специальное устройство. Сварку производят постоянным током прямой или обратной полярности в зависимости от металла трубы, а также переменным током. Трубы из коррозионно-стойких и хромоникелевых сталей сваривают на постоянном токе прямой полярности (к электроду подключают отрицательный полюс), а трубы из алюминия, магния и их сплавов — на токе обратной полярности. В качестве источника питания применяют обычные сварочные генераторы.

Высокая теплопроводность и теплоемкость гелия способствуют созданию в зоне нагрева металла условий, при которых значительно повышаются механические свойства сваренной трубы и улучшаются условия работы вольфрамового электрода. К недостаткам применения гелия относят его высокий расход вследствие низкой плотности.

Теплопроводность и теплоемкость аргона значительно ниже, чем у гелия, а плотность выше. Теплопроводность аргона почти равна теплопроводности воздуха, а теплоемкость почти вдвое меньше, чем у воздуха. Поэтому при использовании аргона зона термического влияния намного больше, чем в случае применения гелия.

Температура электрической дуги при сварке АДС составляет 5000...8000 °С, сила тока 180...400 А, напряжение 20...60 В.

Для неплавящихся электродов применяют вольфрам марки ВТ-15, содержащий 1,5–2 % оксида тория. Диаметр электродов $d_э$ из торированного вольфрама 1–7,5 мм (где $d_э < 4$ мм использовались для сварки труб малого диаметра, а $d_э \geq 4$ мм — для сварки труб большого диаметра).

На рис. 13 показан один из основных узлов стана — сварочное устройство. Вольфрамовый электрод (1) зажимается в электродержателе (2), к которому подведен ток. Через керамическое сопло (3) корпуса горелки (4) подается защитный газ; корпус горелки и электродержатель охлаждаются водой. Инертный газ по трубе (5) поступает в камеру (6) над электродержателем и из нее через отверстие (7) попадает в керамическое сопло (3). Охлаждающая вода по трубке (8) подается непосредственно к электродержателю и затем выходит из горелки по трубке (9), охлаждая при этом расположенный в ней силовой кабель. Расход воды составляет 0,5 л/мин. При сварке кромки заго-

товки (10) сжимаются валками (11). Специальный подающий механизм регулирует установку горелки с электродом относительно свариваемых кромок.

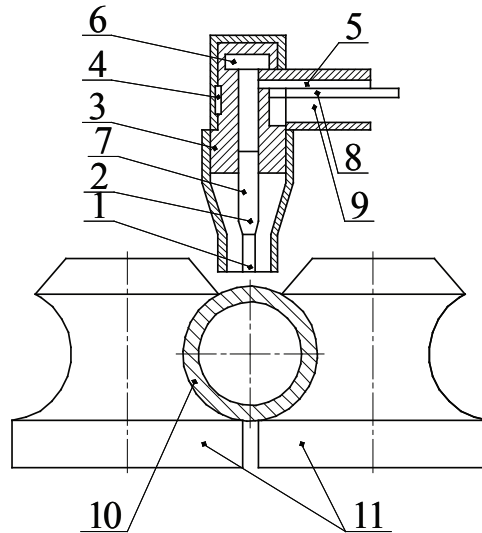


Рис. 13. Схема аргано-дуговой сварки труб:

- 1 — электрод; 2 — электродержатель; 3 — керамическое сопло;
- 4 — корпус горелки; 5 — труба подвода защитного газа; 6 — камера;
- 7 — отверстие подачи газа; 8, 9 — трубы для подвода и отвода охлаждающей воды; 10 — свариваемая труба; 11 — шовосжимающие валки

При сварке труб с защитой дуги инертным газом кромки сформованной трубной заготовки оплавляются, причем сварочная ванна образуется только от расплавления металла кромок. Струя инертного газа, отводящего значительное количество тепла, ускоряет охлаждение и кристаллизацию металла сварочной ванны. Необходимое усилие удержания кромок создается шовосжимающими валками.

Для уменьшения внутреннего грат в трубу подают защитный газ под давлением (поддув), который создает газовый подпор жидкого металла внутри трубы. Химический состав металла шва в процессе сварки обычно не изменяется. Для увеличения коррозионной стойкости труб не следует допускать попадания углерода в расплавленную ванну металла в процессе сварки [4]. Поэтому кромки трубной заготовки обезжиривают, а всю поверхность ленты очищают перед формовкой от загрязнения и масла.

С увеличением силы тока и напряжения на дуге повышается тепловая мощность, что позволяет увеличить скорость сварки. Однако увеличение скорости сварки за счет роста электрической мощности возможно только до определенного предела. Чрезмерное увеличение силы сварочного тока приводит к образованию дефектов на наружной поверхности трубы, а повышение напряжения вызывает нарушение стабильности процесса горения дуги.

Сварку в гелии проводят в специальных камерах, герметизирующих сварочный узел, с целью уменьшения расхода газа и улучшения защиты шва. Для снижения расхода дорогостоящего гелия, а также повышения скорости сварки часто применяют смесь гелия с аргоном 3:1, что позволяет увеличить скорость сварки на 30–40 % без ухудшения качества сварного шва.

Преимущества данного способа сварки:

- возможность сварки высоколегированных сталей и сплавов;
- производство труб без внутреннего грата.

Недостатки способа аргоно-дуговой сварки:

- низкая производительность стана АДС вследствие малой скорости сварки;
- сложность конструкции сварочного узла (проблемы минимизации утечки защитного газа);
- литая структура шва (для повышения механических свойств целесообразно проводить последующую холодную деформацию сварной трубы);
- необходимость тщательной очистки и обезжиривания кромок заготовки.

2.5. Микроплазменная сварка труб

Плазменная и микроплазменная сварка является относительно новым способом производства тонкостенных электросварных труб. Плазма образуется за счет ионизации в электромагнитном поле подаваемого под давлением в зону сварки инертного газа, в который дополнительно введены плазмообразующие газы (азот, водород, двуокись углерода). Возможность повышения скорости сварки связана с большой тепловой мощностью, а также с легкостью управления плазменной ду-

гой, в частности за счет ее большой чувствительности по отношению к управляющему магнитному полю. При плазменной сварке формируется мелкая аустенитная структура сварного шва, однако его коррозионные свойства могут несколько уступать свойствам после газосварки. Установлено, что при микроплазменной сварке труб с толщиной стенки 0,2...1,0 мм высота внутреннего грат не превышает 8 % от толщины стенки трубы. Это позволяет использовать электросварные заготовки для изготовления высококачественных холоднодеформированных труб способом бухтового безоправочного волочения.

Схема процесса микроплазменной сварки представлена на рис. 14. Сварка осуществляется дугой прямого действия, горящей между вольфрамовым электродом и изделием. В начальный момент с помощью осциллятора производится зажигание дежурной дуги между электродом (1) и металлическим соплом (2), в которое подается плазмообразующий газ. Основная дуга (4) зажигается при помощи дежурной дуги между электродом и изделием (5). Защитный газ подается к месту сварки через зазор между соплом (2) и керамическим соплом (3). Устойчивое и стабильное горение микроплазмы на малых токах, менее, чем 0,1 А, обеспечивается высокой степенью сжатия столба дуги каналом сопла малого диаметра (< 1 мм).

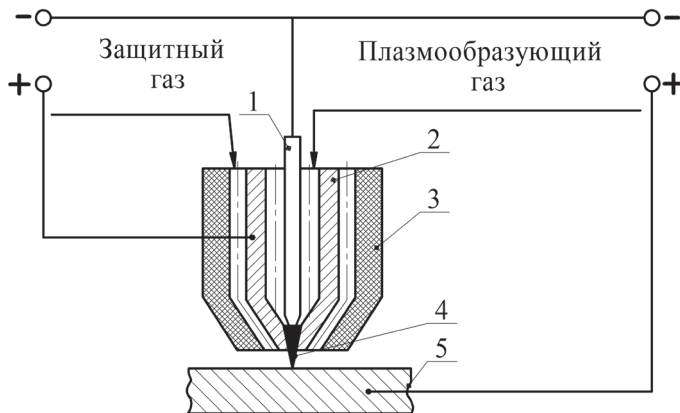


Рис. 14. Схема процесса микроплазменной сварки:

- 1 — электрод; 2 — сопло металлическое; 3 — сопло керамическое;
4 — дуга прямого действия; 5 — изделие

В качестве плазмообразующего газа используют аргон, а в качестве защитного — аргон, гелий, азот, смесь аргона с водородом, аргона с ге-

лием, аргона с азотом, азота с водородом (в зависимости от свариваемого металла).

Микроплазменная сварка имеет более широкие технологические возможности, чем сварка сжатой дугой. Сила сварочного тока оказывает более интенсивное действие на размеры шва, чем диаметр канала сопла и расход плазмообразующего газа. С уменьшением диаметра канала сопла ширина шва по сравнению с глубиной проплавления изменяется незначительно. Повышение расхода плазмообразующего газа от 0,1 до 0,3 л/мин при диаметре канала сопла 1 мм и силе тока 6 А способствует интенсивному увеличению глубины проплавления при незначительном изменении ширины шва. При дальнейшем увеличении расхода плазмообразующего газа глубина проплавления уменьшается.

За счет высокой сосредоточенности теплового потока создается малоамперная сжатая дуга, что обеспечивает с применением водорода в защитном газе получение качественных швов с минимальной зоной термического влияния [4].

2.6. Электронно-лучевая сварка труб

Этот вид сварки применяют обычно для соединения деталей из химически активных, тугоплавких и других металлов, ее можно также использовать и для сварки труб. Благодаря высокой концентрации энергии, электронный луч позволяет получать узкое и глубокое проплавление при незначительной зоне термического влияния.

Схема электронно-лучевой установки для сварки труб в вакууме приведена рис. 15.

В верхней части вакуумной камеры (1) размещена электронная пушка (2), питаемая от выпрямителя высокого напряжения (3). Электромагнитная фокусирующая линза и отклоняющая система (4) служат для фокусировки и перемещения луча. Механизм перемещения изделия (5) находится внутри вакуумной камеры. Через электрический вакуумный ввод (6) подается электропитание. В нижней части камеры расположена вакуумная система (7). Установкой управляют с пульта (8).

Предварительно сформованную трубную заготовку конечной длины (500–1000 мм), устанавливают таким образом, чтобы продольные кромки прилегали друг к другу. Затем вакуумную камеру плотно закры-

вают и из нее откачивают воздух. После достижения нужного разрежения начинают сварку. В процессе сварки трубная заготовка автоматически перемещается относительно электронного луча.

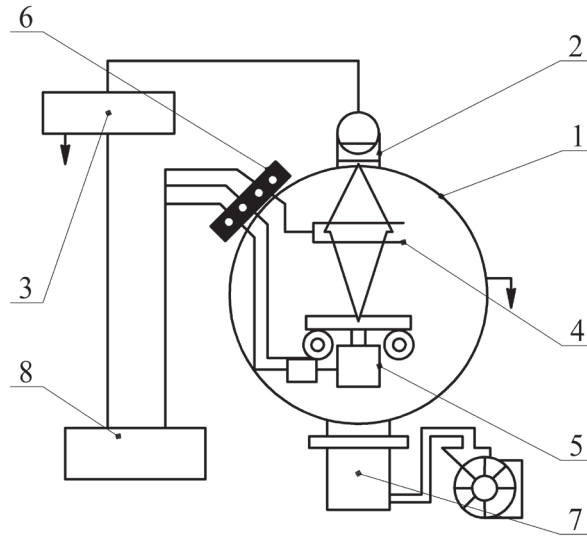


Рис. 15. Схема установки для сварки электронным лучом:

1 — вакуумная камера; 2 — электронная пушка; 3 — выпрямитель высокого напряжения; 4 — электромагнитная фокусирующая линза с отклоняющей системой; 5 — механизм перемещения изделия; 6 — электрический вакуумный ввод; 7 — вакуумная система; 8 — пульт управления

К недостаткам процесса сварки труб в вакууме следует отнести громоздкость и высокую стоимость оборудования, низкую производительность, ограниченную длину получаемых труб. С целью устранения этих недостатков проводят исследования по созданию камер с местным вакуумом и по использованию в качестве защитной атмосферы инертных газов [4].

2.7. Лазерная сварка труб

Лазерная сварка применяется для труб с толщиной стенки 0,25...1,5 мм из углеродистых и коррозионно-стойких сталей.

В последнем случае она имеет следующие преимущества по сравнению со способами сварки токами высокой частоты и неплавящимся электродом:

- требуется меньшая мощность сварки;
- металл шва имеет более мелкую дендритную структуру;
- происходит менее интенсивный рост зерен металла в зоне термовлияния (рис. 16), например, по сравнению с ярко выраженной неравномерной структурой околошовной зоны при АДС-сварке (рис. 17) предотвращается концентрация оксидов и образование «критических» фаз, например карбидов титана;
- обеспечивается более высокая прочность и пластичность металла шва;
- обеспечивается повышенная прочность электросварных труб в условиях действия коррозии и знакопеременных напряжений.

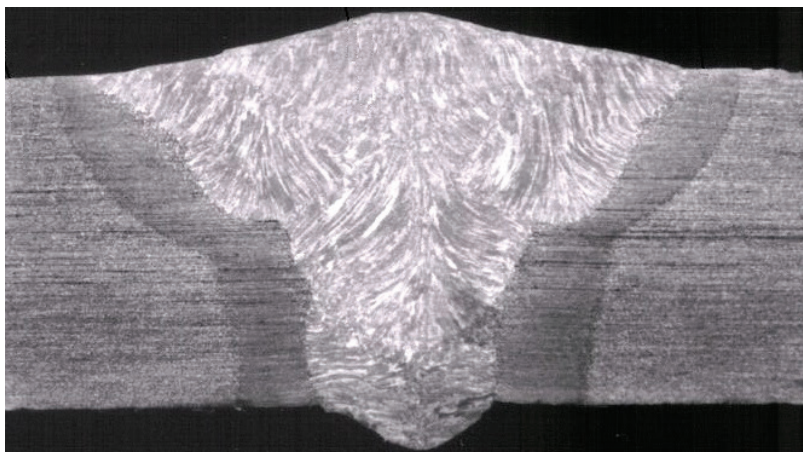


Рис. 16. Структура шва и околошовной зоны при лазерной сварке

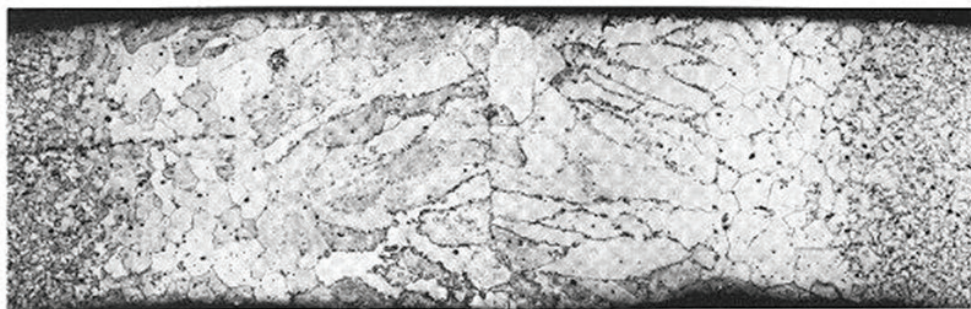


Рис. 17. Структура шва и околошовной зоны при аргоно-дуговой сварке

Сварка осуществляется при помощи CO_2 лазера мощностью 5 кВт. Схема лазерной сварки приведена на рис. 18. Зона сварного шва представлена на рис. 19.

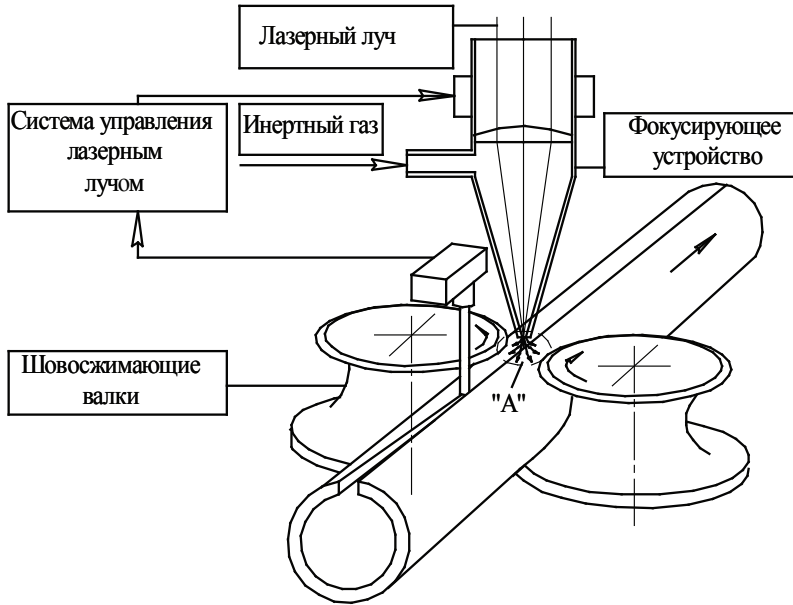


Рис. 18. Схема лазерной сварки труб

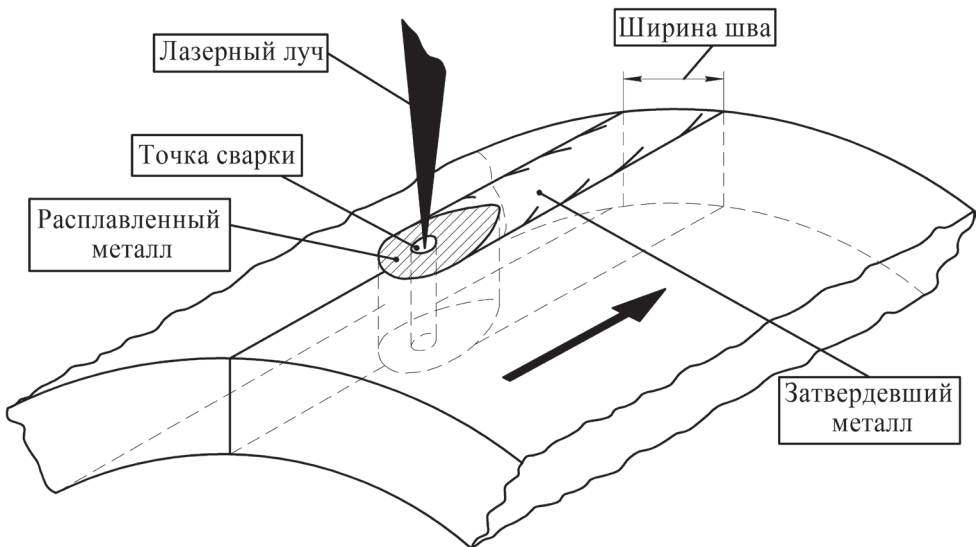


Рис. 19. Зона сварного шва при лазерной сварке труб

Заготовкой служит холоднокатаная отожженная протравленная полоса. Оборудование ТЭСА обеспечивает качественную подготовку кромок полосы, точное позиционирование сформованной трубы относительно лазерного луча при помощи автоматизированной шовонаправляющей системы, защиту зоны сварки инертным газом, стабильное положение лазерного луча в точке сварки, постоянство скорости сварки. В результате этих мер формируется однородный шов минимальной ширины и плавная переходная область шва без его локального утонения.

В перспективе считают целесообразным заменить лазерной сваркой электродуговую сварку под слоем флюса. Это позволит уменьшить ширину сварного шва и повысить прочность сварных труб с толщиной стенки до 20 мм.

Технология лазерной сварки коррозионно-стойких труб с наружным диаметром 38...55 мм и толщиной стенки 1,5...2,5 мм разработана фирмой Hoesch (Германия).

Фирма Orregermann (Германия) использует трубосварочный агрегат с лазерной установкой мощностью 20 кВт.

2.8. Дуговая сварка под слоем флюса

Схема дуговой сварки под флюсом представлена на рис. 20.

Электрическая дуга горит под слоем флюса между свариваемыми кромками заготовки и металлическим электродом. Благодаря высокой температуре дуги (более 3500 °С), кромки расплавляются и разделка заполняется металлом электрода и основного металла. Слой расплавленного флюса защищает ванну жидкого металла от окисления. Затем флюс (шлак) затвердевает, образуя на поверхности шва шлаковую корку, которая отделяется от поверхности шва. Сварочная проволока, а вместе с ней и дуга перемещаются в направлении сварки с помощью специального механизма. Флюс засыпают на кромки стыка из бункера перед дугой.

Дуговой автоматической сваркой под флюсом производят трубы большого диаметра, предназначенные для магистральных трубопроводов газа, нефти и нефтепродуктов, а также для сооружения водопроводов, паропроводов низкого давления и др. [4].

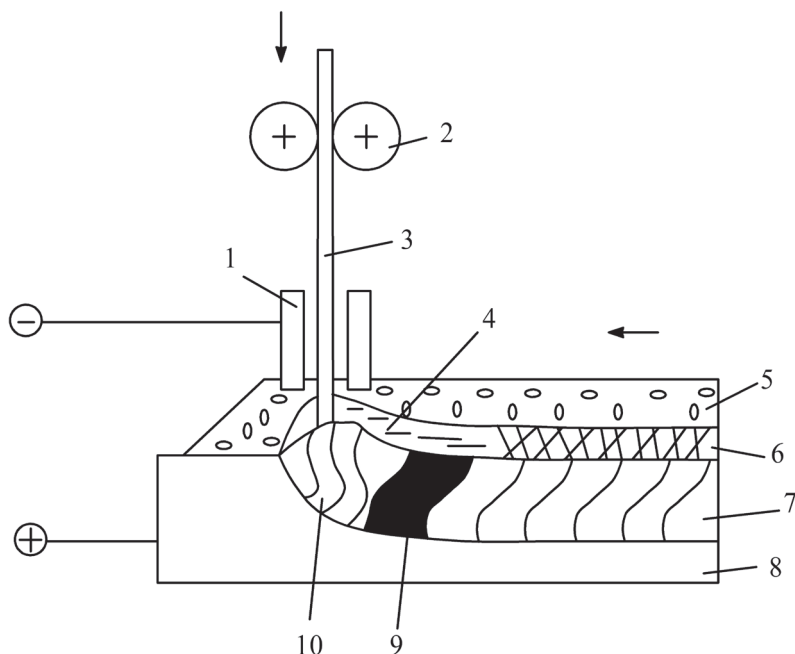


Рис. 20. Схема дуговой сварки под флюсом:

- 1 — токопровод; 2 — механизм перемещения проволоки; 3 — проволока;
 4 — жидкий шлак; 5 — флюс; 6 — шлаковая корка; 7 — сварной шов;
 8 — основной металл заготовки; 9 — жидкий металл в сварочной ванне;
 10 — электрическая дуга

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются особенности сварки токами высокой частоты?
2. Опишите процесс индукционной сварки труб.
3. Каковы достоинства и недостатки сварки труб сопротивлением?
4. Какова температура дуги при аргоно-дуговой сварке труб?
5. Для каких труб используется микроплазменная сварка?
6. Каковы достоинства и недостатки электронно-лучевой сварки труб?
7. Изобразите схему лазерной сварки труб.
8. В чем заключаются особенности дуговой сварки под слоем флюса?

3. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА

Схема деформации (формовки) полосы в непрерывном формовочном стане представлена на рис. 21.

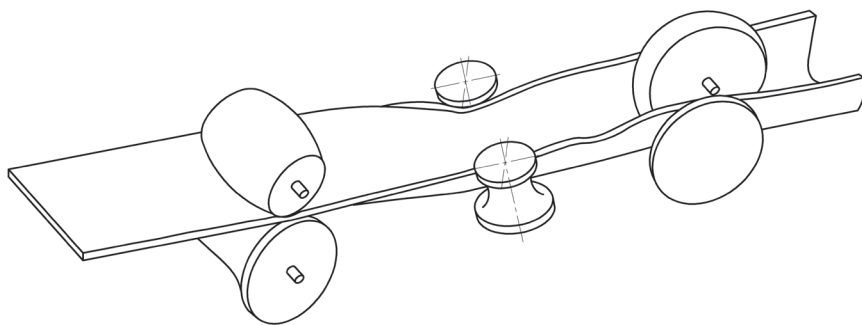


Рис. 21. Схема деформации полосы
в непрерывном формовочном стане

Схемы формовки трубной заготовки приведены на рис. 22.

Все разнообразие существующих калибровок валков можно представить пятью основными типами [6]:

- 1) однорадиусная;
- 2) двухрадиусная с подгибкой кромок;
- 3) двухрадиусная с плоским центральным участком;
- 4) двухрадиусная с изгибом центрального участка;
- 5) овальная по кривым второго порядка.

При выборе типа калибровки руководствуются следующими критериями:

- для толстостенных труб необходимо обеспечить хорошую проформовку кромок заготовки для получения качественного шва;

- для тонкостенных труб необходимо обеспечить отсутствие гофрообразования на кромках заготовки, что исключит непровар шва.

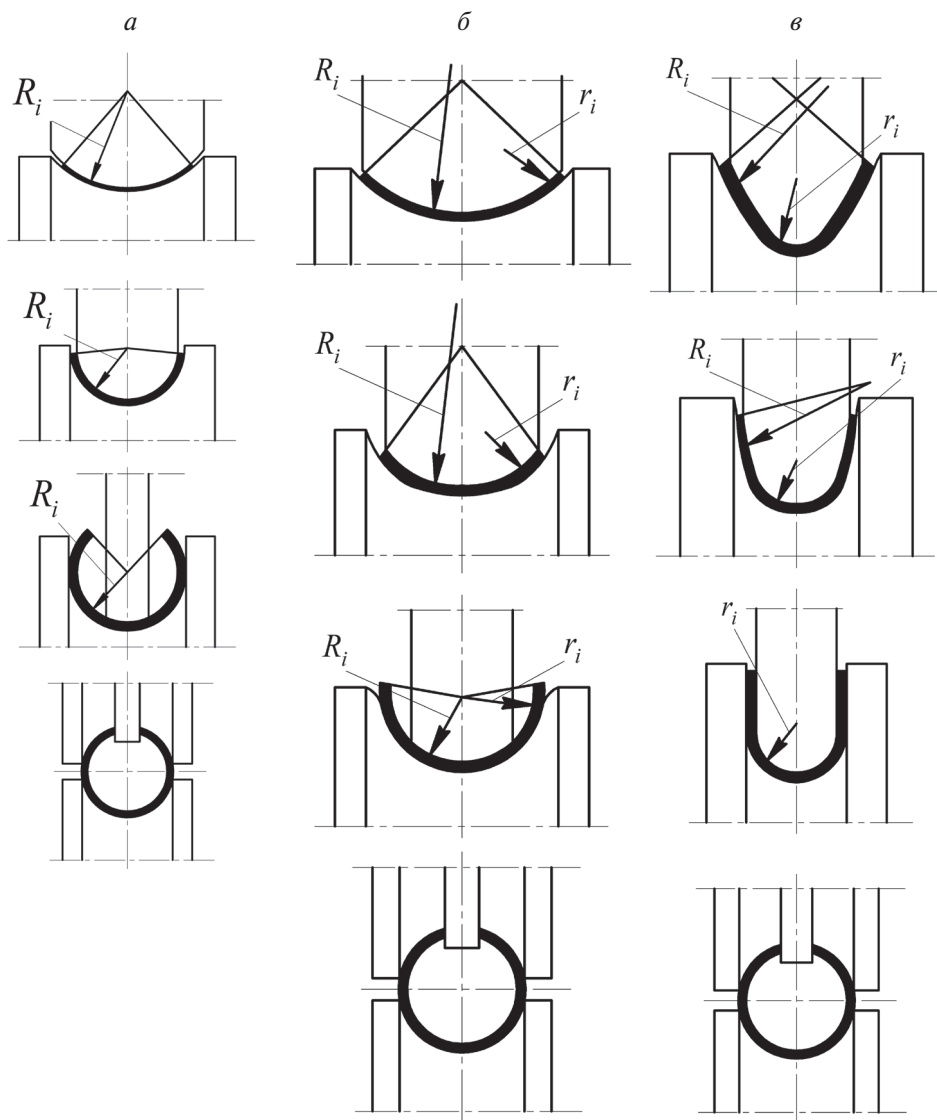


Рис. 22. Схемы формовки трубной заготовки на валковых формовочных станах:

a — однорADIUSные калибры; *б, в* — двухрадиусные калибры

Рассмотрим подробнее основные типы калибровок.

3.1. ОднорADIUSная калибровка валков

Применяется для труб диаметром $D = 4 \dots 600$ мм и толщиной стенки $S = 0,2 \dots 20$ мм.

Принцип калибровки: профиль калибра строится одним постепенно уменьшающимся от клетки к клетки радиусом (рис. 23). «Цветок» формовки — профиль нейтрального слоя полосы на разных стадиях процесса формовки.

Для однорADIUSной калибровки валков «цветок» формовки показан на рис. 23.

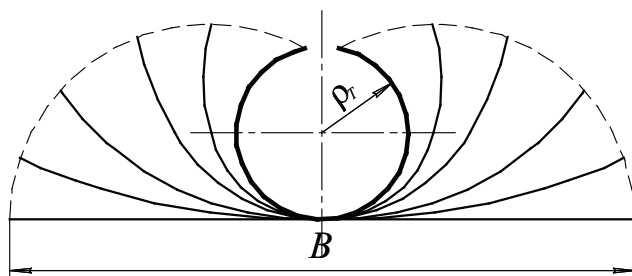


Рис. 23. «Цветок» формовки для однорADIUSной калибровки

Профиль калибра в i -ой клетки (рис. 24) определяется параметрами ρ_i , φ_i , которые связаны следующим соотношением:

$$\rho_i \varphi_i = B,$$

где ρ_i — радиус гiba (формовки) нейтрального слоя полосы; φ_i — угол формовки, рад.; B — ширина полосы.

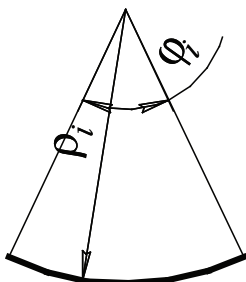


Рис. 24. Профиль калибра i -ой клетки

Изменение кривизны полосы по мере формовки показано на рис. 25.

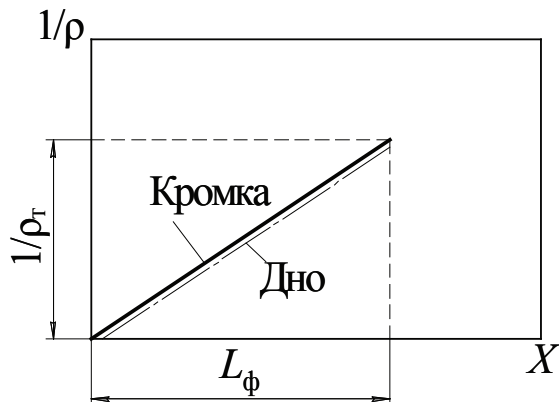


Рис. 25. Изменение кривизны полосы

Преимущества калибровки:

- простота изготовления калибров;
- возможность использования одного комплекта валков в начале (при $\phi < 180^\circ$) формовочного стана для формовки труб разных, но близких диаметров.

Недостатки калибровки:

- сравнительно большие габариты валка по сравнению с другими калибровками, поэтому такая калибровка применяется для малых диаметров труб;
- возможно неконтролируемое поперечное смещение полосы в калибре, т. к. постоянный радиус калибра не препятствует ее смещению, поперечному смещению полосы препятствуют только силы трения;
- большая нагрузка на разрезную шайбу в шовонаправляющей клетки;
- непараллельность схождения кромок полосы, что ведет к образованию дефекта «крыша» (рис. 26).

Образование этого дефекта недопустимо при сварке труб токами высокой частоты, при которой нет доформовки — поджатия дисковыми электродами. При неравномерном схождении кромок, в силу эффекта близости, нагреваются прежде всего внутренние углы кромок. Это увеличивает высоту внутреннего грата, ухудшает качество шва.

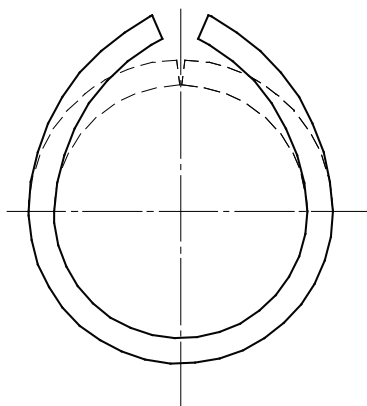


Рис. 26. Непараллельность схождения кромок полосы — дефект «крыша»

3.2. Двухрадиусная калибровка валков (с подгибкой кромок)

Применяется для труб диаметром $D = 4 \dots 600$ мм и толщиной стенки $S = 0,2 \dots 20$ мм. Наиболее распространена для труб малых и средних (до 168 мм) размеров.

Принцип калибровки: дно и кромки формируются, начиная с первой клетки. Радиус подгиба кромок постоянный, равный радиусу трубы. Радиус дна переменный, уменьшается от клетки к клетке и становится равным радиусу трубы.

Для двухрадиусной калибровки валков «цветок» формовки показан на рис. 27.

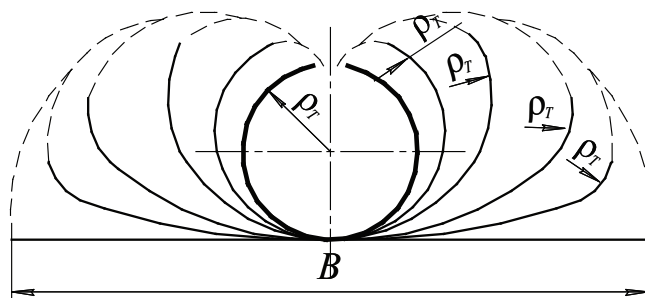


Рис. 27. «Цветок» формовки для двухрадиусной калибровки

Профиль калибра в i -ой клетки (рис. 28) определяется параметрами ρ_i , φ_i , ρ_T , α_i , которые связаны следующим соотношением: $\rho_i \varphi_i + 2\rho_T \alpha_i = B$.

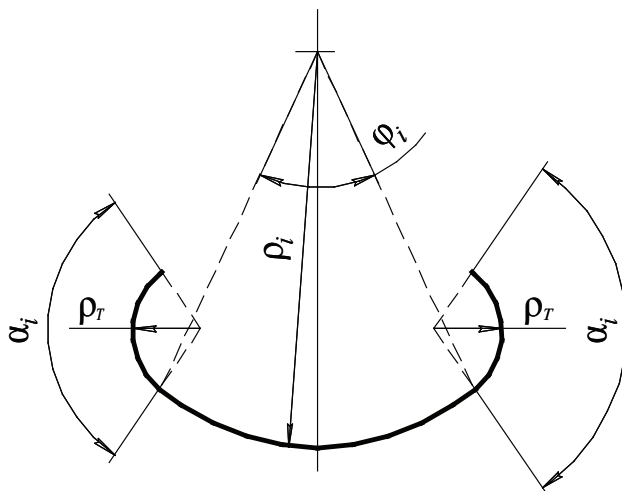


Рис. 28. Профиль калибра в i -ой клетки для двухрадиусной калибровки

Изменение кривизны полосы по мере формовки показано на рис. 29.

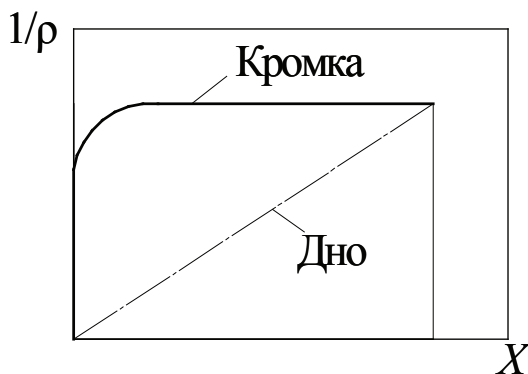


Рис. 29. Изменение кривизны полосы

Преимущества калибровки:

- хорошая проформовка кромок, исключено образование дефекта «крыша»;
- исключено поперечное смещение полосы в калибре.

Недостатки:

- сложность изготовления калибров;
- необходимость иметь полный комплект валков для каждого размера трубы.

3.3. Калибровка валков с плоским центральным участком (дном)

Принцип калибровки: при формовке полосы дно остается плоским, а периферийные участки изгибаются радиусом, равным радиусу трубы. От клетки к клетке угол периферийных участков увеличивается.

Для этой калибровки валков «цветок» формовки показан на рис. 30.

Профиль калибра в i -ой клетке определяется параметрами B_i , ρ_T , α_i , которые связаны следующим соотношением: $B_i + 2\rho_T\alpha_i = B$.

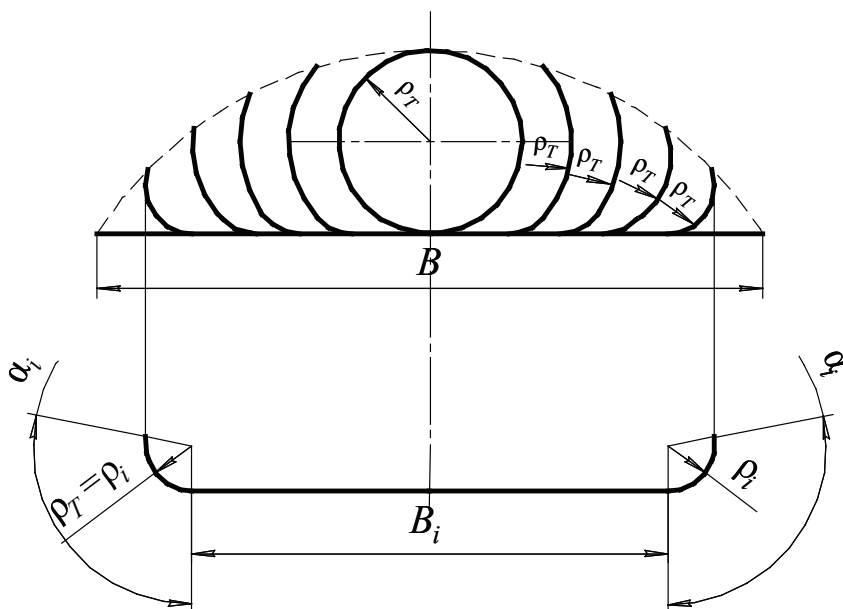


Рис. 30. «Цветок» формовки и профиль i -ой клетки для калибровки валков с плоским центральным участком

Изменение кривизны полосы по мере формовки показано на рис. 31.

Преимущество калибровки: небольшие габариты валков, т. к. нет подъема кромок полосы выше точки их схождения (сравните «цветки» формовки).

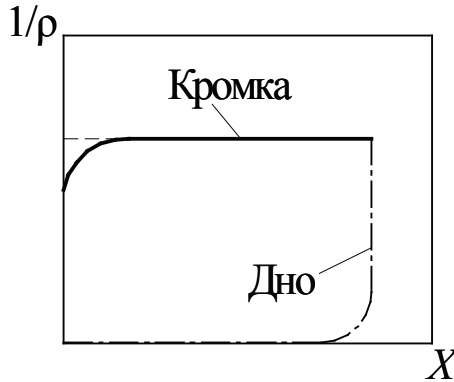


Рис. 31. Изменение кривизны полосы

Недостатки калибровки:

- сложность изготовления калибров;
- необходимость иметь полный комплект валков для каждого размера трубы.

3.4. Двухрадиусная калибровка валков с изгибом центрального участка

Принцип калибровки: дно формируется радиусом, равным радиусу готовой трубы, а периферийные — большим радиусом, который постепенно уменьшают от клетки к клетке. При этом φ_i ширина центрального участка постепенно растет, а угол α_i периферийных участков — уменьшается.

Для этой калибровки валков «цветок» формовки показан на рис. 32.

Профиль калибра в i -ой клетки определяется параметрами ρ_i , φ_i , ρ_T , α_i , которые связаны следующим соотношением: $\rho_T \varphi_i + 2\rho_i \alpha_i = B$.

Изменение кривизны полосы по мере формовки показано на рис. 33.

Преимущество калибровки: эта схема формовки требует меньшего количества клеток, поэтому используется для производства в основном труб большого диаметра.

Недостаток калибровки: плохая проформовка кромок.

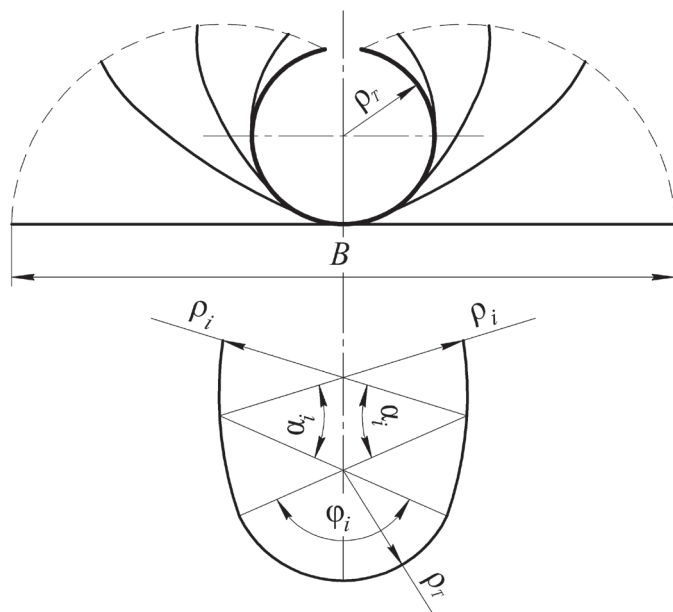


Рис. 32. «Цветок» формовки и профиль i -го калибра для двухрадиусной калибровки с изгибом центрального участка

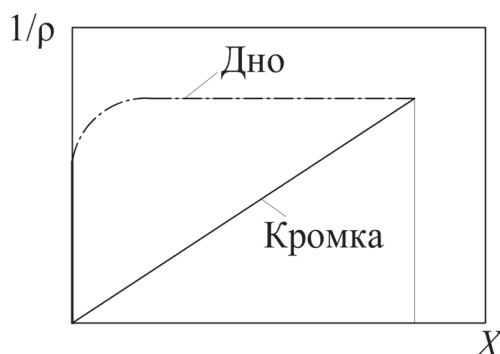


Рис. 33. Изменение кривизны полосы

3.5. Овальная калибровка валков (по кривым второго порядка)

Принцип калибровки: профиль калибра выполнен по кривым второго порядка с монотонно изменяющейся кривизной — в открытых калибрах профиль имеет форму гиперболы или параболы, в закрытых — форму эллипса.

Схема овальной калибровки показана на рис. 34.

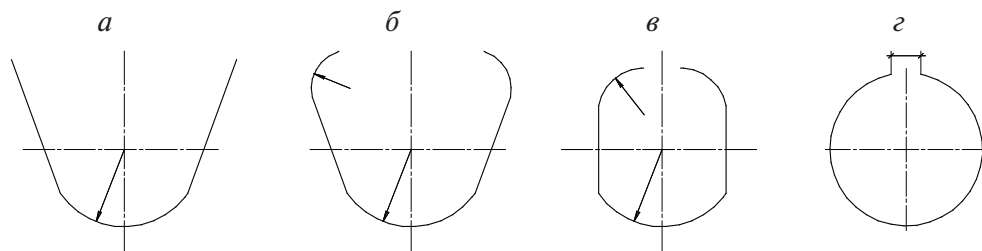


Рис. 34. Схема овальной калибровки:

а, б — открытые калибры; *в, г* — закрытые калибры

Преимущества калибровки:

- эффективна для особо тонкостенных труб, т. к. исключает образование гофров на кромках полосы;
- при этой схеме формовки достаточно четырех клеток.

Недостаток калибровки: сложность изготовления калибров.

3.6. Технологичность калибровки

Технологичность калибровки характеризуется простотой настройки стана и устойчивостью процесса формовки полосы в трубу. Под устойчивостью процесса понимают отсутствие поперечных смещений полосы в калибре под действием возмущающих факторов: непараллельность осей валков, разнотолщинность и/или серповидность полосы.

Из-за смещения нагрузки (рис. 35) происходит несимметричный изгиб полосы в калибре: $\varphi_1 > \varphi_2$. Когда φ_1 достигнет значения угла трения, произойдет сдвиг полосы.

С точки зрения технологичности рассмотренные выше пять типов калибровок можно характеризовать следующим образом. В калибровке 1-го типа сдвиг полосы в калибре сдерживается только силами трения; в калибровках 2–5-го типов для сдвига полосы дополнительно требуется ее деформация. Калибровки 2-го и 3-го типов имеют постоянный радиус подгиба кромок. Если же полоса серповидная, то происходит неодинаковый изгиб слева и справа. В калибровке 5-го типа радиус подгиба кромок изменяется от клетки к клетке, что исключает смещение полосы.

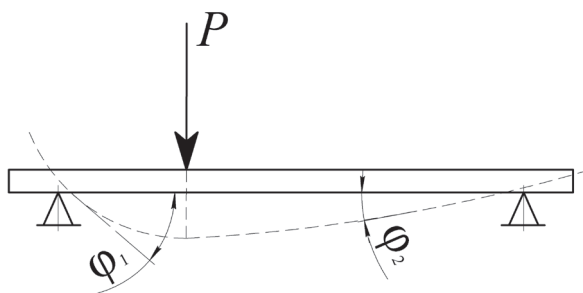


Рис. 35. Схема изгиба полосы

Есть и другие критерии при выборе типа калибровки. Один из самых важных — отсутствие гофров на кромках полосы при ее формовке.

3.7. Причины образования гофров на кромках полосы

При движении полосы через формовочный стан точка a перейдет в положение A по прямой aA (рис. 36).

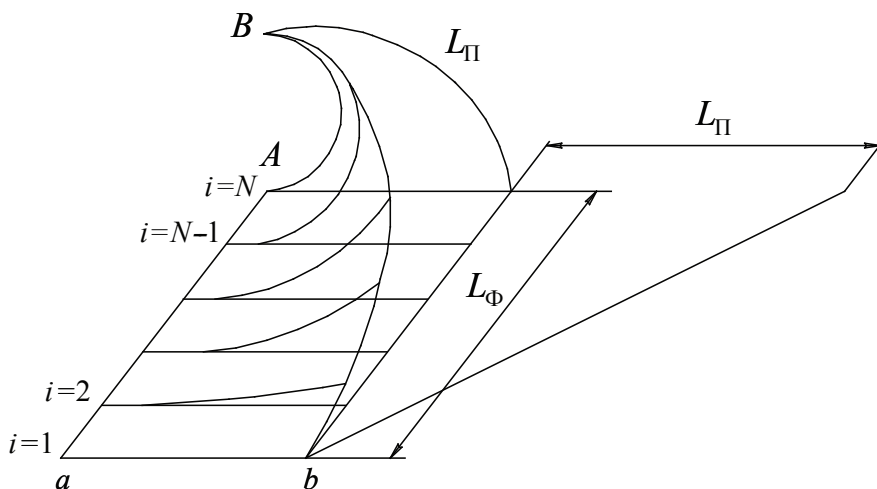


Рис. 36. Схема формовки полосы

Точка b совершит движение в пространстве по кривой bbB . Путь bbB больше, чем aA , то есть кромка полосы испытывает деформацию растяжения:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{bB - aA}{aA},$$

где $aA = L_{\Phi}$ — длина формовочного стана (до входа в шовосжимающие валки);

$$bB \approx \sqrt{L_{\Pi}^2 + L_{\Phi}^2},$$

где L_{Π} — длина проекции пути bB точки b на вертикальную плоскость, определяется типом калибровки валков формовочного стана (типы 1–5).

Если деформация растяжения кромки неупругая, т. е. $\varepsilon_{кр} > 0,002$, то в ней возникнут остаточные сжимающие напряжения. $\int_l \sigma_x^{ост} dl = 0$ — условие самоуравновешивания остаточных напряжений (рис. 37).

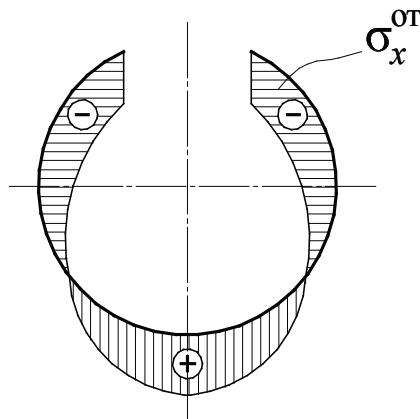


Рис. 37. Распределение остаточных напряжений в полосе при формовке

Остаточные сжимающие напряжения на кромках полосы могут стать причиной появления гофров по механизму потери устойчивости колонны Эйлера.

Для исключения потери устойчивости кромки и появления гофров деформация кромки не должна превышать

$$\varepsilon_{кр} = \frac{\sqrt{L_{\Pi}^2 + L_{\Phi}^2} - L_{\Phi}}{L_{\Phi}} \leq 0,002.$$

Из этого неравенства можно определить минимальную длину формовочного стана L_{Φ} .

Простое «правило» выбора длины формовочного стана предложил Б. Жуковский: $L_{\Phi} \geq (40 \dots 50) d_T$, где d_T — максимальный диаметр трубы из сортамента формовочного стана. Это условие завышает длину формовочного стана.

3.8. Совершенствование способов формовки

Формовка с уводом полосы вниз (рис. 38, рис. 39) [7]

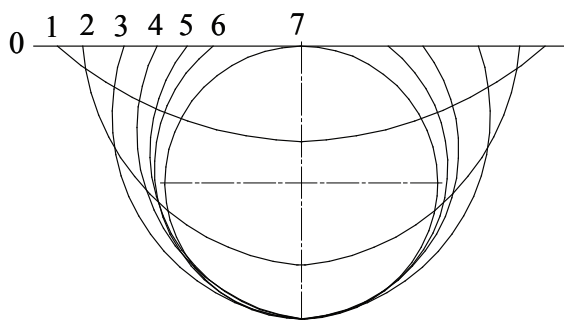


Рис. 38. Формовка при постоянной точке — центре тяжести

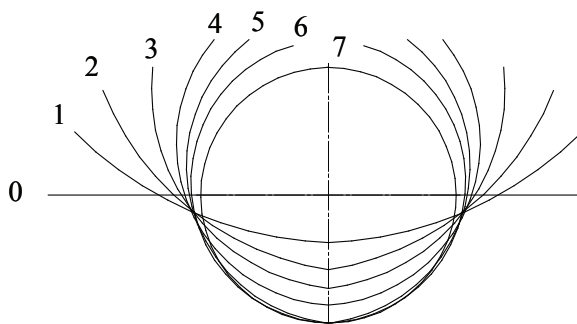


Рис. 39. Формовка при постоянной верхней точке

Этот способ позволяет интенсифицировать процесс формовки, т. е. сократить длину стана и при этом снизить гофрообразование.

Формовка полосы с принудительной расформовкой

Такой способ формовки используется для легированных, в том числе коррозионно-стойких сталей, для которых характерна большая интенсивность упрочнения при малой степени деформации сдвига:

$\Lambda = \sqrt{3} \frac{S}{\rho}$. Например, сталь марки 08Х18Н10Т «мягкая» в исходном состоянии. При формовке эта сталь интенсивно упрочняется (рис. 40). Это упрочнение приводит к расформовке полосы.

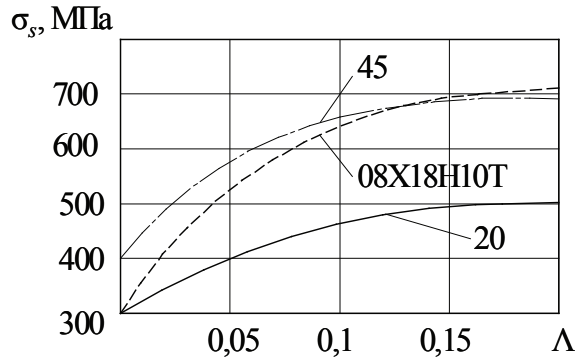


Рис. 40. Кривые упрочнения сталей

Для плотного смыкания кромок применяют расформовку от противоизгиба (рис. 41 и рис. 42) и переформовку кромок (рис. 43 и рис. 44).

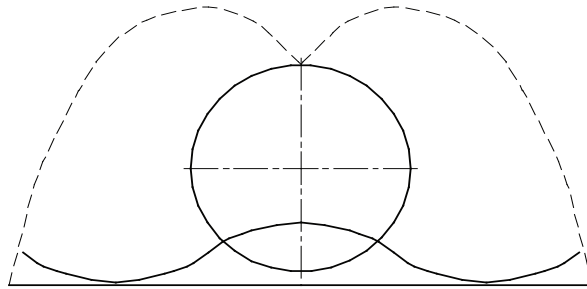


Рис. 41. Расформовка от противоизгиба

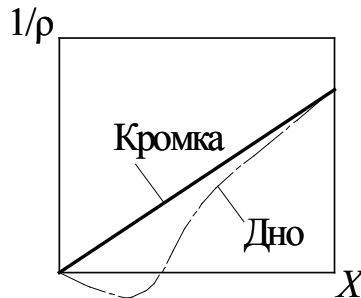


Рис. 42. Изменение кривизны при расформовке от противоизгиба

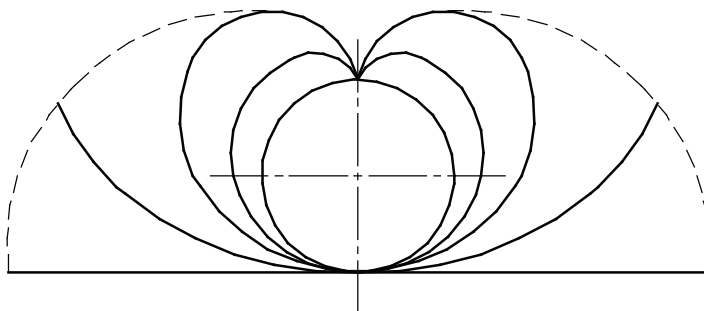


Рис. 43. Переформовка кромок

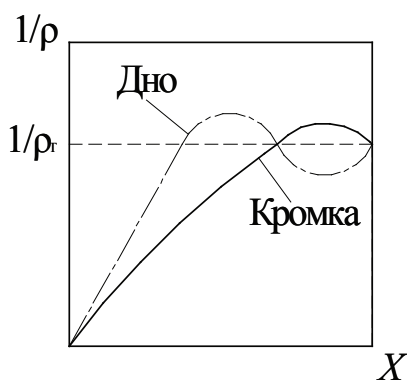


Рис. 44. Изменение кривизны при переформовке кромок

Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы калибровок валков применяют на валковых формовочных станах?
2. Опишите преимущества и недостатки основных типов калибровок формовочных станов.
3. Чем характеризуется технологичность калибровки?
4. К чему может привести упрочнение металла трубы в процессе формовки?
5. Какие способы используют для плотного смыкания кромок?

4. РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ФОРМОВОЧНОГО СТАНА

По форме калибры в зависимости от угла формовки φ подразделяются на открытые ($\varphi < 180^\circ$), полуоткрытые ($\varphi > 180^\circ$), закрытые или с разрезной шайбой ($\varphi > 270^\circ$). Расчет выполним для однорадиусной калибровки [6].

4.1. Исходные данные для расчета калибровки

Для расчета калибровки валков необходимо выбрать число клеток формовочного стана, распределение радиуса и угла формовки по клетям и ширину полосы.

1. Выбор числа клеток

Пусть N_Γ — общее число клеток с горизонтальными валками, m — порядковый номер первой клетки с разрезной шайбой (с закрытым калибром).

Общее число формовочных клеток определяется конструкцией стана:

$$N_\Gamma = \frac{L_\Phi}{W} \text{ (с округлением в сторону уменьшения),}$$

где W — расстояние между клетями.

На практике число клеток с горизонтальными валками принимают:

$$\varnothing 10 \dots 30 \rightarrow N_\Gamma = 5;$$

$$\varnothing 35 \dots 60 \rightarrow N_\Gamma = 6;$$

$$\varnothing 60 \dots 102 \rightarrow N_\Gamma = 7.$$

2. Выбор радиуса и угла формовки полосы

Наиболее просто определить радиус формовки полосы, если принять равномерное распределение деформаций полосы по клетям:

$$\rho_i = m \frac{\rho_T}{i},$$

где $i = 1, \dots, (m - 1)$ — порядковый номер рассматриваемой клетки; m — номер первой клетки с разрезной шайбой; ρ_i — радиус нейтрального слоя полосы; ρ_T — радиус трубы по нейтральному слою в сварочном калибре.

Угол формовки $\varphi_i = \frac{B}{\rho_i}$, где B — ширина полосы.

3. Ширину полосы определяют с учетом диаметра d_0 и толщины стенки S_0 готовой трубы, т. е. после формовочно-сварного и калибровочного стана

$$B = \pi(d_0 - S_0) + \Delta B_\Phi + \Delta B_C + \Delta B_K,$$

где $\Delta B_\Phi = 0,4 \dots 0,8$ мм — уменьшение ширины полосы в процессе формовки (большие значения ΔB_Φ применяют для больших значений S); $\Delta B_C = 1,0 \dots 1,5$ мм — уменьшение ширины полосы в процессе сварки (большие значения ΔB_C применяют для больших диаметров труб); $\Delta B_K = 2,2 \dots 2,7$ мм — обжатие по периметру трубы (по ширине полосы) в калибровочном стане (при использовании редуционного стана, ΔB_K назначают больше, обычно $\Delta B_K = 5 \dots 10$ мм).

4.2. Калибровка горизонтальных валков

1. Открытые калибры ($\varphi < 180^\circ$) представлены на рис. 45.

Размеры калибра рассчитывают по формулам:

$$\rho_i = m \frac{\rho_T}{i};$$

$$\varphi_i = \frac{B}{\rho_i};$$

$$R_{Hi} = \rho_i + \frac{S}{2};$$

$$R_{Bi} = \rho_i - \frac{S}{2};$$

$$B_{Hi} = 2R_{Hi} \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) + (50 \dots 40) \text{ мм} ;$$

$$B_{Bi} = 2R_{Bi} \sin\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) + (5 \dots 2) \text{ мм} .$$

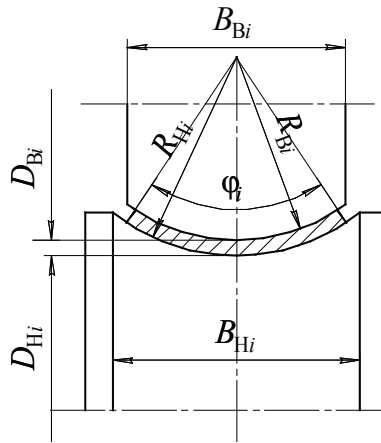


Рис. 45. Открытый калибр

Диаметры нижнего D_{Hi} и верхнего D_{Bi} валков

Для 1-й клетки принимается $D_{H1} = (3,6 \dots 4,0) d_T^{\max}$, где d_T^{\max} — наибольший диаметр трубы из сортамента стана. В последующих клетях для создания натяжения полосы принимают нарастание диаметра на 0,5 %:

$$D_{H(i+1)} = 1,005 D_{Hi} .$$

На практике чаще принимают

$$D_{H(i+1)} = D_{Hi} + 1 \text{ мм} .$$

Диаметр верхних валков находят из условия формовки полосы.

При групповом приводе валков формовочного стана в расчетах используют катающий диаметр вала:

$$\left. \begin{aligned} D_{KB_i} &= D_{B_i} - 2R_{B_i} \left(1 - \cos \frac{\varphi_i}{16} \right) \\ D_{KH_i} &= D_{H_i} + 2R_{H_i} \left(1 - \cos \frac{\varphi_i}{2} \right) \end{aligned} \right\}$$

Для уменьшения скольжения полосы в валках необходимо выполнение следующего равенства: $D_{KH_i} = D_{KB_i}$. Решая данное равенство, находим диаметр верхнего валка D_{Bi} . Это равенство применяется, если оба валка приводные.

Если один из валков приводной, например нижний, то диаметр верхнего валка принимается $D_{Bi} \approx D_{Hi}$.

2. Полуоткрытые калибры ($\phi > 180^\circ$) представлены на рис. 46.

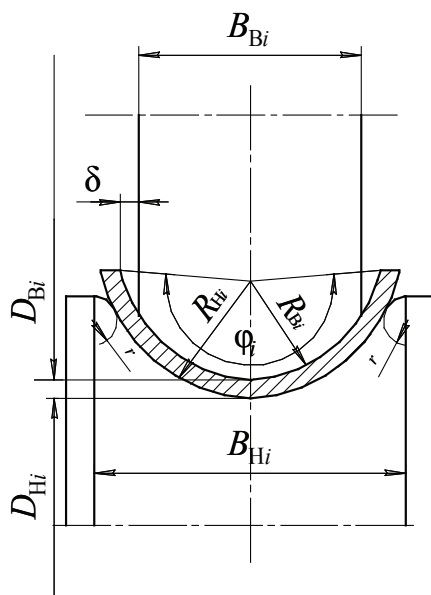


Рис. 46. Полуоткрытый калибр

$$\rho_i = m \frac{\rho_T}{i};$$

$$\varphi_i = \frac{B}{\rho_i};$$

$$R_{Hi} = \rho_i + \frac{S}{2};$$

$$R_{Bi} = \rho_i - \frac{S}{2}.$$

$$B_{Bi} = 2 \left(R_{Bi} \sin \frac{\varphi_i}{2} - \delta \right), \text{ где } \delta = 1...2 \text{ мм — зазор между кромкой поло-}$$

сы и верхним валком.

$B_{Hi} = 2(R_{Hi} + r)$, где r — радиус закругления реборды, $r = 10...15$ мм для малых диаметров труб; $r = 30...40$ мм для больших диаметров труб. Толщину реборды выбирают конструктивно.

3. Калибры с разрезной шайбой ($\phi > 270^\circ$) представлены на рис. 47.

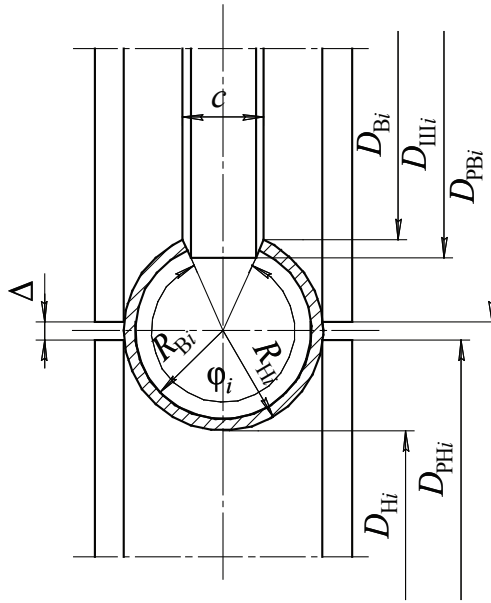


Рис. 47. Калибр с разрезной шайбой

Верхний валок включает шайбу для точного направления кромок трубной заготовки в сварочный узел. Достаточно иметь разрезные шайбы в предпоследней и последней парах валков.

Для первого калибра с разрезной шайбой

$$R_{H1} = (B + C_1) / 2\pi + S / 2,$$

где C_1 — толщина разрезной шайбы в 1-м калибре,

$$R_{B1} = R_{H1} - S,$$

$$\phi_1 = B / (R_{H1} - S / 2).$$

Радиусы второго (третьего) калибра с разрезной шайбой определяются так же: $R_{Bi} = R_{Hi} - S$.

Для последней клетки с разрезной шайбой, из которой выходит сформованная труба: $B' = B - \Delta B_\phi$.

Диаметр реборды нижнего вала

$$D_{PHi} = D_{Hi} + 2R_{Hi} - \Delta ,$$

где $\Delta \approx 1$ мм — зазор между валками.

Диаметр верхнего вала определяется с учетом равенства скоростей вала и трубной заготовки в месте соприкосновения кромки с разрезной шайбой. В противном случае шайба сильно изнашивается и задирет поверхность кромки:

$$D_{Bi} \approx D_{Hi} .$$

Диаметр реборды верхнего вала

$$D_{PBi} = D_{Bi} + 2R_{Hi} \cos\left(\frac{\varphi_i}{2}\right) - \Delta .$$

Диаметр разрезной шайбы

$$D_{Шi} = D_{Bi} + (15...20) \text{ мм} .$$

В табл. 2 дана толщина разрезной шайбы в зависимости от диаметра трубы.

Таблица 2

Толщина разрезной шайбы

Тип стана	d_T , мм	С, мм	
		1 клеть	2, 3 клетки
6—32	8	5,6	1,9
	16	11,8	2,4
	33	18,0	3,8
20—102	25	9,6	3,2
	51	13,1	4,4
	76	15,4	5,2
	102	16,6	5,5

4.3. Калибровка вертикальных (эджерных) валков

Вертикальные валки служат своеобразными проводками, т.е. обеспечивают правильную задачу полосы в валки следующей клетки и препятствуют ее расформовке.

Эджерные клетки будем нумеровать так: $j = i, (i + 1)$, что означает номер эджерной клетки, размещенной между горизонтальными клетями i и $i + 1$. Например, $j = 2, 3$ (между 2 и 3-й клетями). Обычно между горизонтальными клетями одна эджерная клеть. Иногда применяют эджерный стол, включающий 2...3 эджерных клетки.

Калибровка эджерных валков соответствует трем группам горизонтальных приводных клетей.

Известно два подхода к калибровке эджерных валков.

Первый подход:

$$\varphi_j = \varphi_i ;$$

$$\rho_j = \rho_i ;$$

$$R_{B_j} = R_{B_i} ;$$

$$R_{H_j} = R_{H_i} .$$

Профиль калибра эджерных валков повторяет профиль трубы после предыдущей горизонтальной клетки. В этом случае эджерная клеть в формовке не участвует, а только препятствует расформовке.

Второй подход:

$$\rho_j = \frac{2\rho_i\rho_{i+1}}{\rho_i + \rho_{i+1}} ;$$

$$\varphi_j = \frac{B}{\rho_j} ;$$

$$R_{Hj} = \rho_j + \frac{S}{2} ;$$

$$R_{Bj} = \rho_j - \frac{S}{2} .$$

В этом случае эджерная клеть участвует в формовке. При этом разгружаются клетки с горизонтальными валками и уменьшается их количество.

Эджерные валки 1-й группы представлены на рис. 48.

$$\alpha_j = \frac{1}{3}\varphi_j - \text{угол охвата полосы};$$

$$\delta_j = 2R_{Hj} \sin\left(\frac{\varphi_j}{2} - \alpha_j\right);$$

$$D_{Kj} \approx d_T^{\max};$$

$$h_{\Phi j} = R_{Hj} \left[\cos \left(\frac{\varphi_j}{2} - \alpha_j \right) - \cos \left(\frac{\varphi_j}{2} \right) \right] - \text{высота рабочей (формующей)}$$

части вала;

$$h_{Kj} = 0,5 h_{\Phi j};$$

$$h_{Bj} = 10 \dots 30 \text{ мм (большее значение для большей толщины стенки).}$$

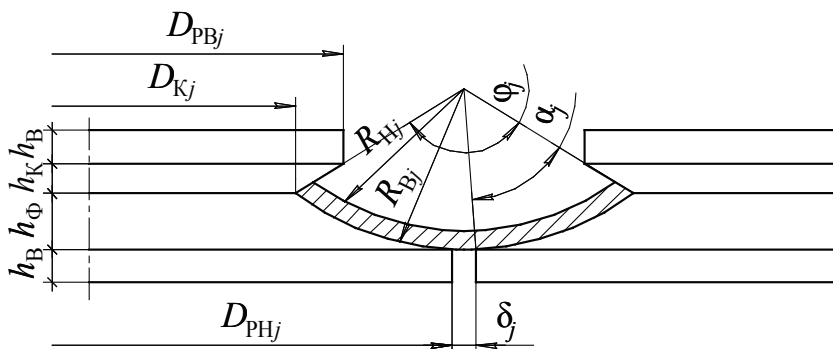


Рис. 48. Калибр эджерных валков 1-й группы

Диаметр реборд

$$D_{PHj} = D_{Kj} + 2R_{Hj} \sin \left(\frac{\varphi_j}{2} \right) - \delta_j;$$

$$D_{PBj} = D_{Kj} + 2h_{Kj} \tan \left(\frac{\varphi_j}{2} \right).$$

Эджерные валки 2-й группы представлены на рис. 49.

Формулы для φ_j , D_{Kj} , R_{Hj} ; R_{Bj} такие же, как и в предыдущем случае.

$$D_{PHj} = D_{Kj} + 2R_{Hj} - \Delta,$$

где Δ — 1 мм, межвалковый зазор.

$$D_{PBj} = D_{Kj} + 2R_{Hj} \left(1 - \sin \frac{\varphi_j}{2} \right);$$

h_{Hj} , h_{Bj} определяются исходя из конструкции формовочной клетки.

$$h_{\Phi j} = R_{Hj};$$

$$h_{\Phi B_j} = R_{Hj} \sin \left(\frac{\varphi_j}{2} - \frac{\pi}{2} \right).$$

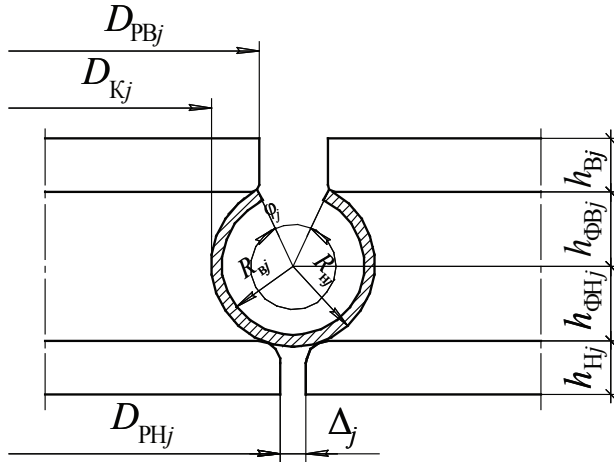


Рис. 49. Калибр эджерных валков 2-й группы

Эджерные валки 3-й группы

В этой группе профиль трубы овализируют, чтобы он входил в калибр с разрезной шайбой не защемляясь.

При этом ширина данного эджерного калибра не должна превосходить ширину следующего горизонтального калибра с разрезной шайбой (рис. 50).

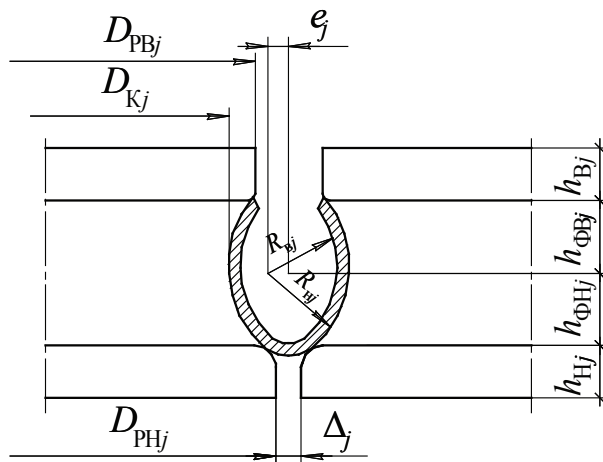


Рис. 50. Калибр эджерных валков 3-й группы

e_j — эксцентриситет;

$$e_j = R_{H_j} - R_{H_{j+1}},$$

где $R_{H_{j+1}}$ — радиус для калибра следующей формовочной пары валков.

Обычно $e_j = 2...3$ мм.

Остальные размеры — по аналогии с предыдущей группой, за исключением

$$h_{\Phi H_j} = \sqrt{R_{H_j}^2 - e_j^2}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Как подразделяются калибры в зависимости от угла формовки?
2. Какие данные необходимы для расчета калибровки валков?
3. Опишите методику расчета горизонтальных валков формовочного стана.
4. Опишите методику расчета вертикальных валков формовочного стана.

5. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА

Трубы диаметром от 6 до 660 мм производят на непрерывных трубоэлектросварочных агрегатах (ТЭСА). Основные технологические операции при производстве труб электросваркой — формовка трубной заготовки, сварка и калибровка (редуцирование) сваренной трубы. Эти технологические операции объединены в один цикл и проводятся непрерывно.

Формовку листа производят на непрерывных формовочных станках с горизонтальными и вертикальными валками. В сварочной клети кромки сформованной в трубу заготовки нагреваются, сдавливаются и свариваются. Далее производят калибровку (редуцирование) трубы.

5.1. Технологический процесс и состав оборудования

ТЭСА включает оборудование для подготовки полосы, формовки трубной заготовки, ее сварки, калибровки, резки и последующей отделки труб [8]. Схема расположения оборудования показана на рис. 51.

Технологический процесс включает следующие операции и оборудование [9].

1. Размотка полосы (штрипса). Оборудование: кантователь, кран-балка, подающий транспортер рулонов, ножницы для резки упаковочной ленты рулона, отгибатель конца рулона, тянущие ролики.

2. Правка полосы. Оборудование: 9-валковая правильная машина.

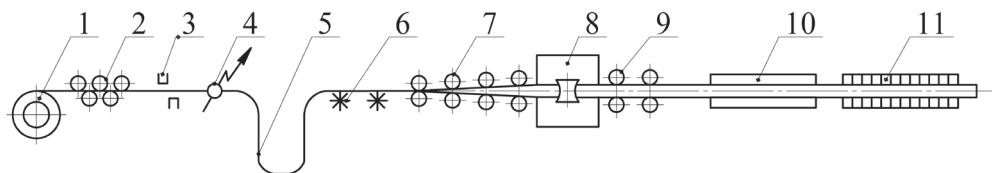


Рис. 51. Схема расположения оборудования:

- 1 — размотка; 2 — правка; 3 — обрезка концов; 4 — стыкосварка;
 5 — набор запаса заготовки; 6 — очистка; 7 — формовка; 8 — сварка;
 9 — калибровка; 10 — нагрев; 11 — редуцирование

3. Обрезка концов рулонов перед стыкосваркой. Оборудование: ножницы с нижним приводным ножом.

4. Стыкосварка концов рулонов методом оплавления и механической осадки, удаление поперечного грата. Оборудование: стыкосварочная машина с подвижной станиной и гратоснимателем.

5. Набор запаса полосы для обеспечения непрерывности процесса сварки трубы при сварке концов рулонов. Оборудование: накопитель полосы (ямного, тоннельного или спирального типа).

6. Очистка поверхности и кромок полосы. Оборудование: щетки, дробеструйная обработка.

7. Непрерывная формовка полосы в трубу. Оборудование: многоклетевой стан с двухвалковыми клетями. Чередуются клетки с горизонтальными и вертикальными валками. Клетки с открытым калибром постепенно заменяются клетями с закрытым калибром. Последняя клеть формовочного стана — шовонаправляющая.

8. Сварка сформованного профиля в трубу и удаление грата. Способы сварки рассмотрены ранее. Оборудование: сварочная машина и гратосниматель.

9. Калибрование трубы. Оборудование: многоклетевой стан (3 клетки с горизонтальными приводными и 3 клетки с вертикальными неприводными валками). На выходе из стана — правка трубы в правильногладильной клетю.

10. Нагрев трубы перед редуцированием. Оборудование: индуктор или газовая печь.

11. Горячее редуцирование трубы. Оборудование: редуцирующий стан.

Если в составе ТЭСА установлен только калибровочный стан, то после калибровки трубу режут при помощи летучего трубоотрез-

ного станка. Далее труба поступает на делительное устройство, с помощью которого передается на одну из поточных линий отделки, включающей правку на косовалковой машине, подрезку торцов труб и снятие фаски, гидроиспытание внутренним давлением, контроль труб и их упаковку.

Если в составе ТЭСА установлен редуциционный стан, то после калибровки трубы режут на мерные длины (60...100 м) для штучного горячего редуцирования. Нагрев отрезанных труб и их последующее редуцирование, резку на меру и охлаждение труб производят в линии, параллельной формовочно-сварочному стану. Преимущество такой схемы: производительность ТЭСА выше на 30...40 %, сравнительно короткая линия стана. Недостаток: концевая обрезь (утолщенные концы) на каждой трубе при штучном редуцировании.

Концевая обрезь практически исключается, если редуциционный стан установлен в одну линию с формовочно-сварочным станом. Здесь происходит формовка, сварка, калибровка и редуцирование «бесконечной» трубы. Резку «на ходу» осуществляют летучими устройствами (станками с дисковыми ножами или пилами). Охлаждение после редуцирования и резки производят на охлаждающем столе (барабанный сбрасыватель, винтовая и цепная секции). Эта технология требует согласовывать скорости формовки, сварки, калибровки, нагрева и редуцирования. Для этого используют АСУ ТП.

На современных ТЭСА применяют устройства для локальной термообработки шва: плоский индуктор и спреер для охлаждения.

5.2. Раскрой заготовки на агрегате продольной резки

Рулоны заготовки разрезаются на полосы на агрегатах продольной резки (АПР). Состав оборудования АПР представлен на рис. 52.

Резка полосы на АПР включает следующие операции:

- установка рулона в разматыватель при помощи кантователя и загрузочной тележки (предварительно удаляется обвязка);
- подача конца полосы в листоправильную машину;
- резка переднего конца полосы с помощью ножниц;
- продольная резка и резка кромок при помощи дисковых ножей;
- намотка нарезанных полос на барабан;

- резка заднего конца полосы с помощью гильотинных ножниц и завершение намотки полосы на заправочной скорости;
- обвязка и выдача рулонов.

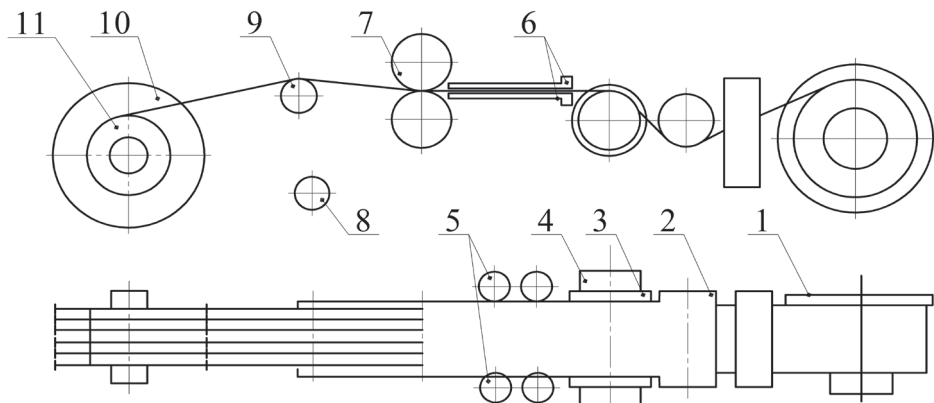


Рис. 52. Агрегат продольной резки:

- 1 — разматыватель с устройством для отгибания и задачи конца полосы;
 2 — натяжной ролик; 3 — направляющие упоры; 4, 5 — направляющие ролики;
 6 — проводки; 7 — дисковые ножи; 8 — устройство для сбора обрезки;
 9 — направляющий ролик; 10 — прокладки; 11 — барабан
 для намотки разрезанных лент

При производстве высокоточных электросварных труб предъявляются повышенные требования к точности раскроя исходной заготовки и качеству поверхности кромок. Например, при изготовлении труб для цилиндров амортизаторов автомобилей допуск на ширину ленты составляет $+0,1$ мм, заусенцы, скругления на кромках не допускаются.

5.3. Правка полосы

Правка полосы осуществляется на листопрямильных машинах, валки которых расположены в шахматном порядке. Принцип правки в листопрямильной машине основан на последовательных перегибах ленты с постоянно уменьшающейся величиной перегиба от первых к последним валкам. Кинематическая схема листопрямильной машины представлена на рис. 53.

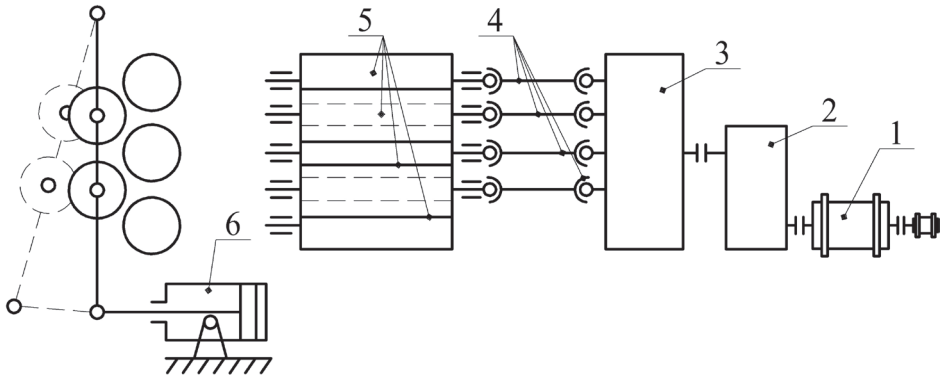


Рис. 53. Кинематическая схема листопрямильной машины:

1 — электродвигатель; 2, 3 — редуктор; 4 — шпиндель;
5 — правильные валки; 6 — гидроцилиндр

5.4. Подрезка кромок полосы

Подрезка кромок полосы производится для обеспечения высокого качества сварки, а также для получения минимальных отклонений от расчетной ширины полосы.

На АПР подрезка кромок производится одновременно с раскромом заготовки на полосы различной ширины. Схема установки дисковых ножей АПР представлена на рис. 54.

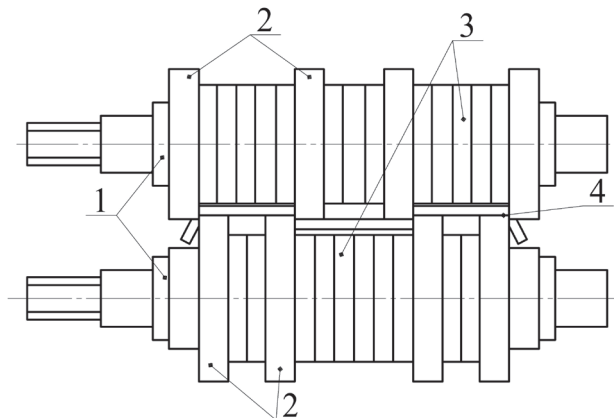


Рис. 54. Схема установки дисковых ножей на АПР

На оправки (1) устанавливают несколько дисковых ножей (2), разделенных между собой калиброванными втулками (3). Число пар ножей должно быть на единицу больше числа лент (4), разрезаемых из одной заготовки. Размещение верхних и нижних ножей должно обеспечивать одинаковое направление реза на обеих кромках полосы, чтобы заусенцы выходили на одну поверхность. Это необходимо для получения качественного сварного шва.

5.5. Накопители полосы

Набор запаса полосы. В процессе стыковки концов полосы необходим запас ее в накопителе, обеспечивающий непрерывность процесса формовки и сварки трубы. Для этого применяют петлеобразователи различных типов: ямный, спиральный и тоннельный.

Ямные накопители. Схема ямного накопителя полосы представлена на рис. 55. Для подачи полосы в яму и из нее служат подающие и тянущие валки. В петлевую яму полоса подается в виде петель.

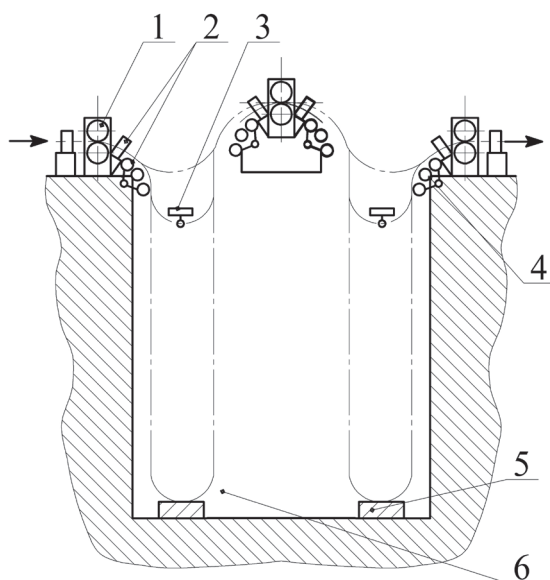


Рис. 55. Ямный накопитель полосы:

1 — подающие валки; 2, 4 — направляющие ролики; 3 — датчик верхнего положения полосы; 5 — датчик нижнего положения полосы; 6 — яма

Петли полосы последовательно «нагоняются» между соседними парами тянущих валков. Роликовые проводки служат для предотвращения изгиба полосы вблизи тянущих валков. При заполнении накопителя подающие валки каждой из петель включают последовательно, начиная с петли, наиболее близкой к тянущим валкам, вытягивающим полосу из ямы.

Минимальная и максимальная длина петель контролируется датчиками.

Спиральные (барабанные) накопители более сложны конструктивно, но занимают меньшую производственную площадь и обеспечивают больший запас ленты, чем накопители тоннельного или ямного типа.

Схема спирального накопителя показана на рис. 56.

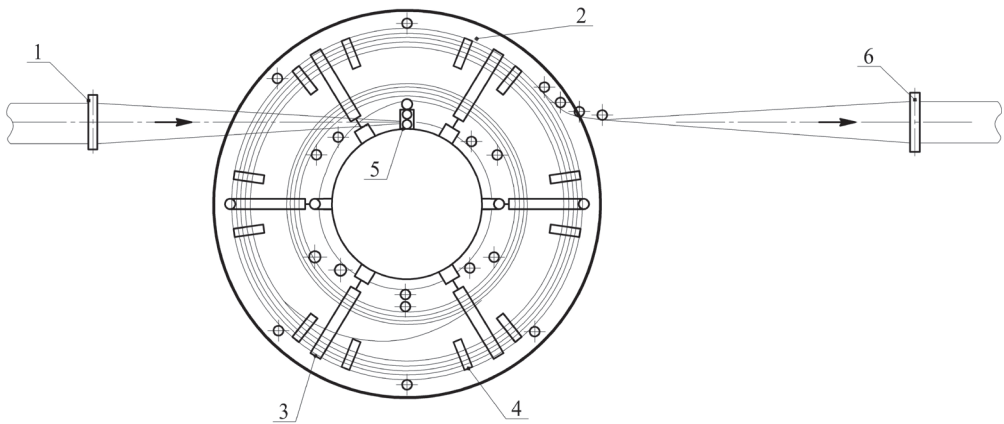


Рис. 56. Схема спирального накопителя полосы:

- 1 — входное устройство поворота полосы; 2 — стол; 3 — опорные ролики;
4 — направляющие ролики; 5 — приводные тянущие ролики;
6 — выходное поворотное устройство

Тоннельные накопители. За рубежом используют в качестве накопителей полосы петлевые устройства тоннельного типа, расположенные перед формовочным станом. Такое расположение накопителя наиболее рационально с точки зрения компоновки оборудования, его простоты и обеспечения низких характеристик шума. Схема тоннельного накопителя показана на рис. 57.

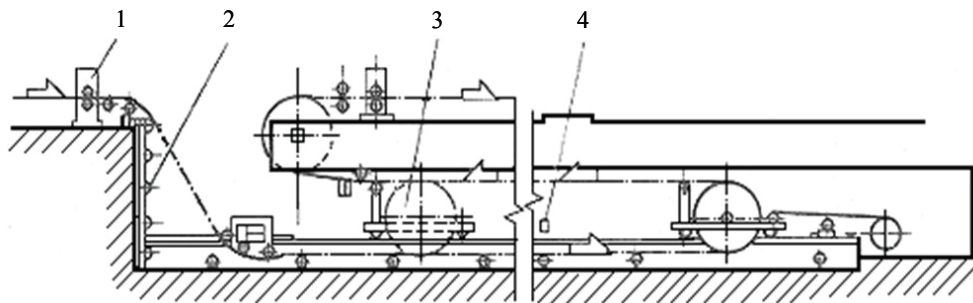


Рис. 57. Схема тоннельного накопителя:

1 — тянущие валки; 2 — подъемный стол; 3 — петлеобразующая тележка; 4 — боковые проводки

5.6. Формовка полосы в трубу

Полоса формируется в трубную заготовку на непрерывных формовочных станах. Количество клеток формовочного стана определяется размером формируемой трубы.

Обычно формовка трубной заготовки осуществляется в клетях формовочного стана с приводными горизонтальными валками. Для предотвращения расформовки полосы между клетями устанавливают вертикальные (эджерные) неприводные валки. Эджерные валки могут также осуществлять дополнительную формовку полосы. Общий вид формовочного стана показан на рис. 58.

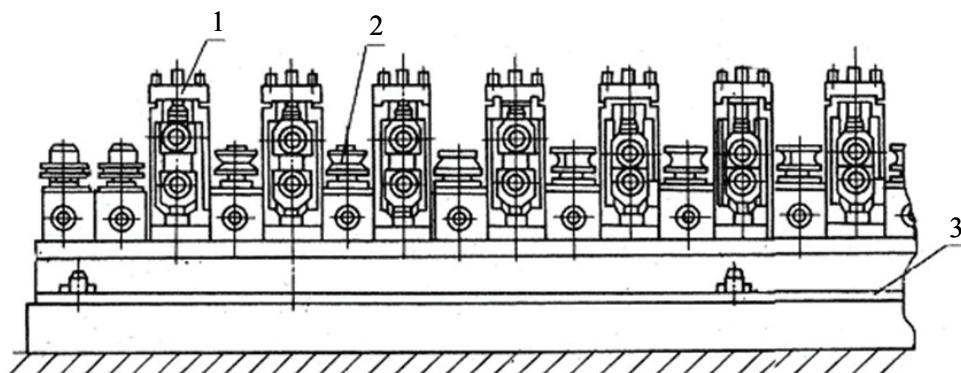


Рис. 58. Общий вид формовочного стана:

1 — клетя с горизонтальными валками; 2 — клетя с вертикальными валками; 3 — постамент

Общий вид клетки формовочного стана показан на рис. 59.

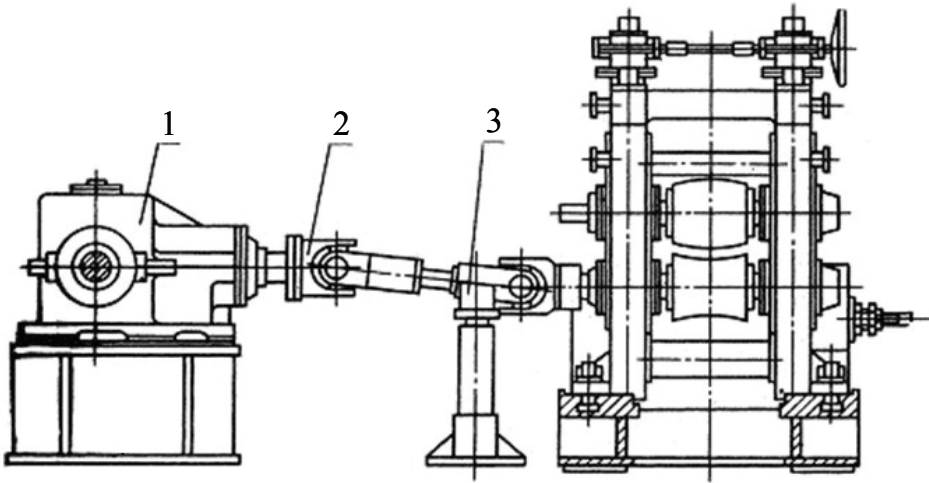


Рис. 59. Клеть формовочного стана с приводным нижним валком:

1 — привод; 2 — шпиндель; 3 — уравнивающее устройство

Техническая характеристика непрерывных формовочных станов представлена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика валковых трубоформовочных станов

Параметр	Трубоэлектросварочный агрегат				
	20–76	51–114	102–220	203–530	140–250
Ширина полосы, мм	75...241	162...364	320...750	650...1680	430...770
Толщина полосы, мм	1...4	1,4...5,5	1,5...4	2,0...10	6,2...10,7
Число горизонтальных приводных клеток	5	6	9	8	6
Число горизонтальных холостых клеток	1	—	—	—	—
Число вертикальных холостых клеток	7	5	9	6	5
Число шовонаправляющих клеток	1	1	1	1	1
Межклетевое расстояние, мм	600	1270; 750	1550	2000; 1075; 1200	1300; 1100; 1300

Окончание табл. 3

Параметр	Трубоэлектросварочный агрегат				
	20–76	51–114	102–220	203–530	140–250
Диаметр рабочих валков (по дну калибра), мм	160	350	380	600	—
Тип привода	Групповой		Индивидуальный		—
Мощность привода, кВт	180	160	9×75	5×70 + 3×110	—
Скорость формовки, м/с	0,5...2,5	0,8...2,0	0,5...1,17	0,75 ...1,25	0,4...0,9

Трубоэлектросварочные агрегаты (ТЭСА) с непрерывными формовочными станами различают по способу нагрева кромок. Эти способы рассмотрены в главе 2.

5.7. Сварка сформованного профиля в трубу и удаление грата

Трубоэлектросварочная машина предназначена для нагрева кромок трубной заготовки и сварки труб.

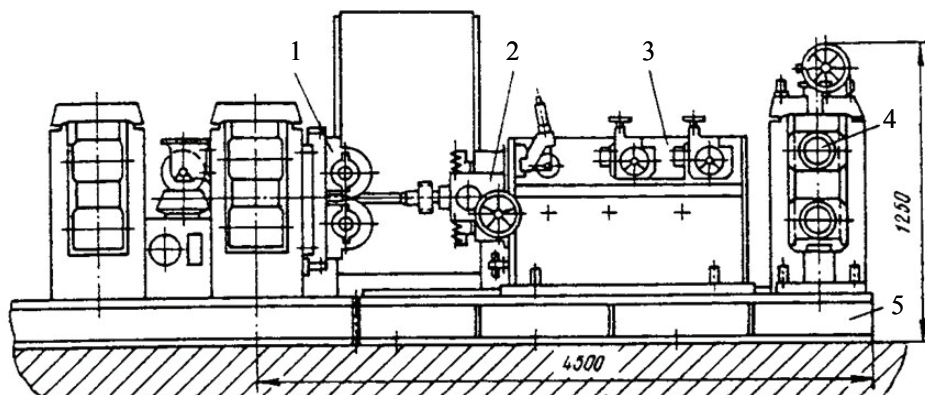


Рис. 60. Трубоэлектросварочная машина:

1 — клетки шовонаправляющей; 2 — клетки сварочной; 3 — наружных гратоснимателей; 4 — клетки гладильной; 5 — основания (постаменты)

Удаление наружного и внутреннего грата с поверхности трубы производится гратоснимателями, расположенными после сварочной клетки. Удаление наружного и внутреннего грата производят резцовыми гратоснимателями.

5.8. Калибрование трубы и горячее редуцирование трубы

После сварочной машины и гратоснимателя труба поступает в гладильную клетку, валками которой производится закатка остатков грата.

Для охлаждения зоны сварного шва за гладильной клеткой установлен спреер для подачи воды.

В состав современных ТЭСА также включаются установки для локальной термообработки (отжига) сварного шва с системой воздушного или водо-воздушного охлаждения трубы.

Охлажденная труба поступает на калибровочный и (или) профилирующий (для производства труб с некруглым сечением) станы.

Калибровочный стан служит для калибровки сварных труб по диаметру и состоит из поочередно расположенных клеток с вертикальными и горизонтальными валками.

Горячее редуцирование трубы позволяет значительно расширить сортамент труб и повысить производительность агрегата. С этой целью в одну линию или в линии параллельной формовочно-сварочному стану устанавливают многоклетевую редуцирующую-растяжную стан.

5.9. Отделка и контроль качества электросварных труб

Отделку труб производят на поточных линиях, где выполняются следующие операции:

- правка труб;
- обработка концов труб;
- испытание гидравлическим давлением;
- осмотр и ремонт труб;
- консервация и упаковка труб.

В состав линий отделки также включаются дефектоскопы для контроля качества труб. При производстве нарезных труб включают станки для нарезки резьбы и накрутки муфт на концах труб.

При контроле качества электросварных труб применяют неразрушающий контроль для выявления дефектов в полосе, сварном соединении непосредственно после сварки и в готовой трубе. В составе ТЭСА применяют электромагнитные или ультразвуковые приборы неразрушающего контроля труб, установленные как на выходе из сварочной клетки, так и на участке отделки. Кроме того, применяется автоматизированная система измерения стенки трубы. Измерение толщины стенки труб производят рентгеновским толщиномером.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные технологические операции на ТЭСА.
2. Каким образом производят раскрой заготовки?
3. Для чего производят подрезку кромок полосы?
4. Какие основные виды накопителей устанавливают в линии ТЭСА?
5. Перечислите основные операции отделки и контроля качества труб.

6. ПРОИЗВОДСТВО ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Трубы большого диаметра (более 426 мм) предназначены для строительства магистральных трубопроводов газа, нефти, нефтепродуктов, а также для водопроводов и паропроводов низкого давления.

Заготовкой для изготовления труб служат горячекатаные листы из низколегированных и углеродистых сталей: Ст3кп, Ст3кп2, Ст3пс, Ст3пс2 — Ст3пс4, Ст3сп, Ст3сп2 — Ст3сп4, 17ГС, 17Г1С, 17Г1С-У, 13ГС, 13Г1С-У, 09ГСФ, 08ГБЮ, 09ГБЮ, 12ГСБ, 12Г2СБ, и др. Трубы из стали марок 17ГС, 17Г1С, 17Г1С-У, 12ГСБ, 09ГСФ относятся к группе прочности К52, трубы из стали марок 12Г2СБ, 13Г1С-У и 08Г1НФБ — соответственно к группам прочности К56, К55 и К60. В последние годы освоено производство труб из стали марок 06ГФБАА, 10Г2ФБЮ группы прочности К60 в хладостойком исполнении, а также труб стали марки 09ГСФ с повышенной хладо- и коррозионной стойкостью [4].

В отечественной и мировой практике применяют как одношовные, так и двухшовные трубы большого диаметра, которые изготавливают с использованием различных способов формовки.

6.1. Способы формовки трубной заготовки

При производстве труб большого диаметра наибольшее распространение получили следующие способы формовки листа [9]:

- формовка листа в цилиндрическую заготовку на прессах, так называемый способ УОЕ;
- формовка листа в цилиндрическую заготовку на вальцах;

- постепенная формовка листа штампами;
- пошаговая формовка листа узкими бойками.

Способ прессовой формовки листа UOE. Схема формовки показана на рис. 61. На валковом стане происходит загибка кромок листа по радиусу, соответствующему радиусу готовой трубы. На прессе предварительной формовки листу придают U-образную форму. Далее на прессе окончательной формовки в закрытых штампах листу придают цилиндрическую форму.

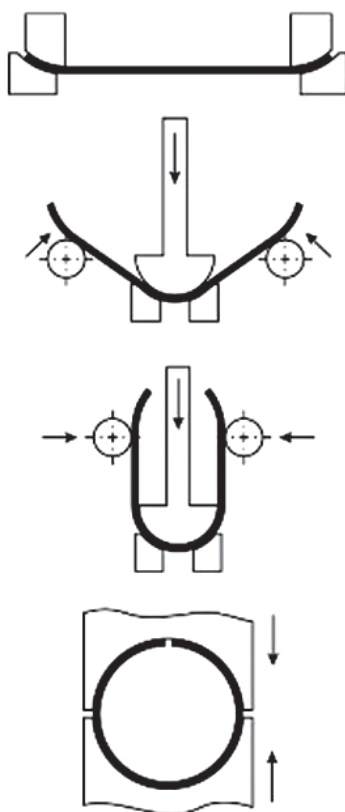


Рис. 61. Схема формовки трубной заготовки — UOE-процесс

Формовка листа на вальцах. В основу формовки на вальцах положена схема изгиба листа между тремя (рис. 62, а) или четырьмя валками (рис. 62, б). Для производства сварных труб чаще применяют четырехвалковые вальцы.

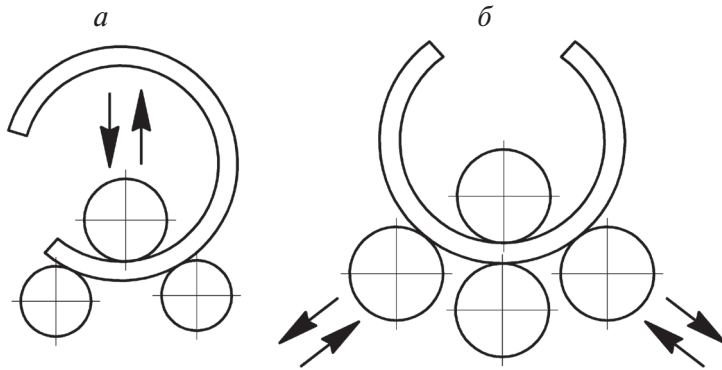


Рис. 62. Схема формовки трубной заготовки на вальцах

В трехвалковых вальцах вращение передается только верхнему валку или также двум нижним. Верхний валок имеет диаметр в 1,3 ... 1,5 раза больше нижних. Его установкой относительно нижних валков регулируется диаметр формируемой заготовки. При формовке в трехвалковых вальцах у заготовки с краев остаются плоские участки, что является недостатком этого способа.

Установка для формовки в четырехвалковых вальцах имеет верхний и нижний приводные валки, два боковых прижимных валька. Формовка листа производится путем гибки между верхним и подвижными боковыми валками за несколько реверсивных движений (от 9 до 11). При этом боковые валки перемещаются в радиальном направлении к центру формируемого цилиндра. После формовки сформованный цилиндр стаскивается с верхнего валька. Для компенсации прогиба верхний валок выполнен профильным с максимальным диаметром в центре валька, а нижние валки имеют несколько опор по длине.

Преимуществом данного способа является возможность быстрой настройки на другой типоразмер труб, что делает эту технологию достаточно экономичной.

Способ постепенной формовки листа штампами. Для получения прямошовных труб большого диаметра применяют многопозиционную формовку на прессах, схема которой приведена на рис. 63. Формовка заготовки производится постепенным изгибом листа штампами, начиная с одной из его кромок.

За каждый ход пресса сравнительно узкий участок листа изгибается между верхним и нижним штампами. После каждой операции гибки следующий участок плоской заготовки подается в штампы пресса

при помощи манипуляторов. Использование сменных штампов позволяет изготавливать трубы широкого сортамента, включая трубы с большим отношением S/D . Последнее обеспечивается использованием узких штампов.

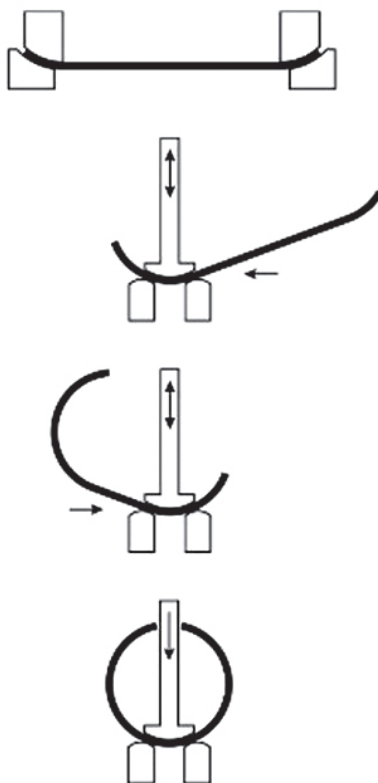


Рис. 63. Схема постепенной формовки трубной заготовки штампами

Способ пошаговой формовки листа узкими бойками. Этот способ целесообразно использовать для изготовления особо толстостенных труб. Формовка листа осуществляется на формовочном прессе узкими бойками (рис. 64), которые обеспечивают ширину очага деформации, равную $1 \dots 1,5$ толщины стенки. Поэтому по сравнению с технологией УОЕ не требуется применять гидропрессы с большими усилиями формовки. Другим преимуществом является то, что бойки одного и того же размера используются для изготовления широкого сортамен-

та труб. Недостатком этого способа является его сравнительно низкая производительность.

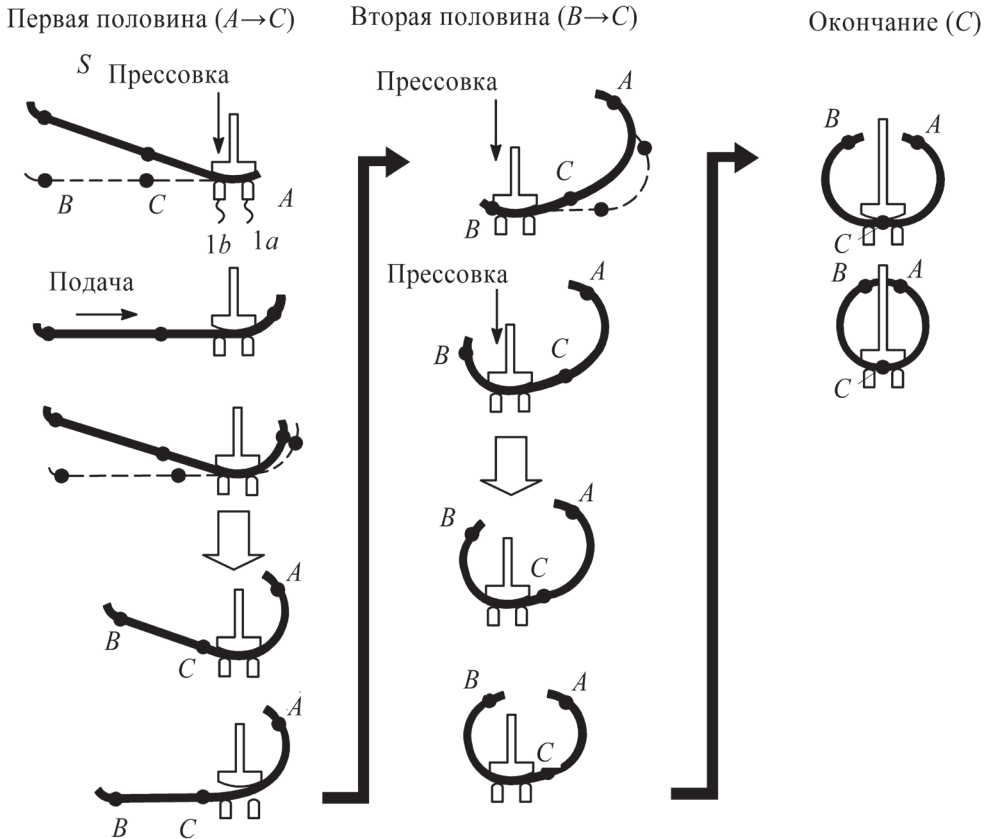


Рис. 64. Схема пошаговой формовки трубной заготовки узкими бойками

Формовочный пресс имеет подвижную траверсу с верхним штампом. Траверса перемещается в вертикальной плоскости гидроцилиндрами. Нижние штампы закреплены в массивных опорах. Подача и фиксация заготовки в прессе осуществляется с помощью двух манипуляторов, расположенных с боковых сторон листа.

Сортамент труб, производимых указанными способами формовки, показан на рис. 65.

На ОАО «ЧТПЗ» установлено три линии по производству труб большого диаметра. Две линии ТЭСА «530–820» для производства труб с одним швом и линия ТЭСА «1020–1220» для производства труб с двумя продольными швами. Способ формовки — УОЕ-процесс. Третья ли-

ния — ТЭСА «530–1420», способ формовки — пошаговая формовка листа узкими бойками.

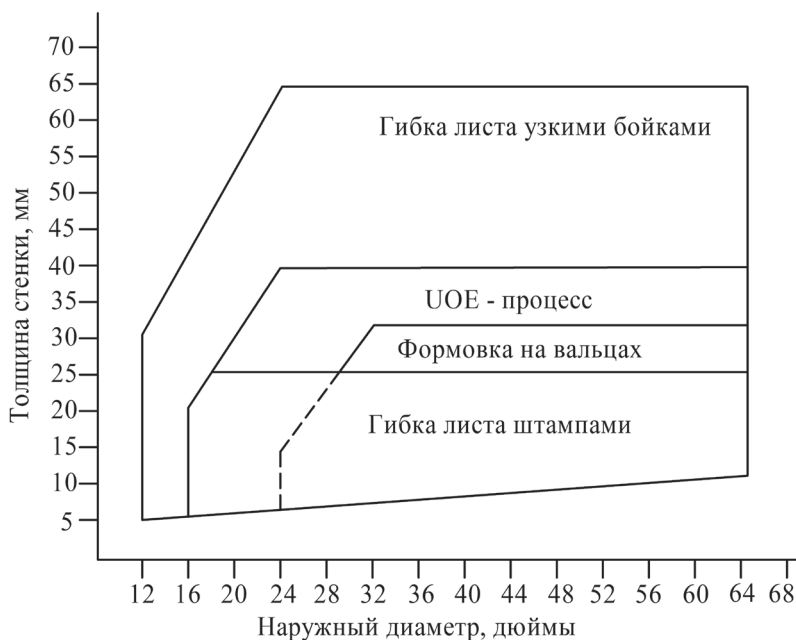


Рис. 65. Сортамент прямошовных труб при различных способах формовки

На ОАО «ВТЗ» прямошовные сварные трубы большого диаметра производятся в линии ТЭСА «530–1420» с применением способа формовки листа на вальцах.

На ЗАО «ИТЗ» прямошовные сварные трубы большого диаметра производятся в линии ТЭСА «530–1420» с применением способа пошаговой формовки листа узкими бойками.

На ОАО «ВМЗ» для производства труб большого диаметра установлено оборудование, аналогичное оборудованию ОАО «ЧТПЗ».

6.2. Технологический процесс производства труб с прессовой формовкой листа — UOE-процесс

Схема технологического процесса производства одношовных труб на ТЭСА «530–820» показана на рис. 66 [4]. План расположения оборудования представлен на рис. 67.

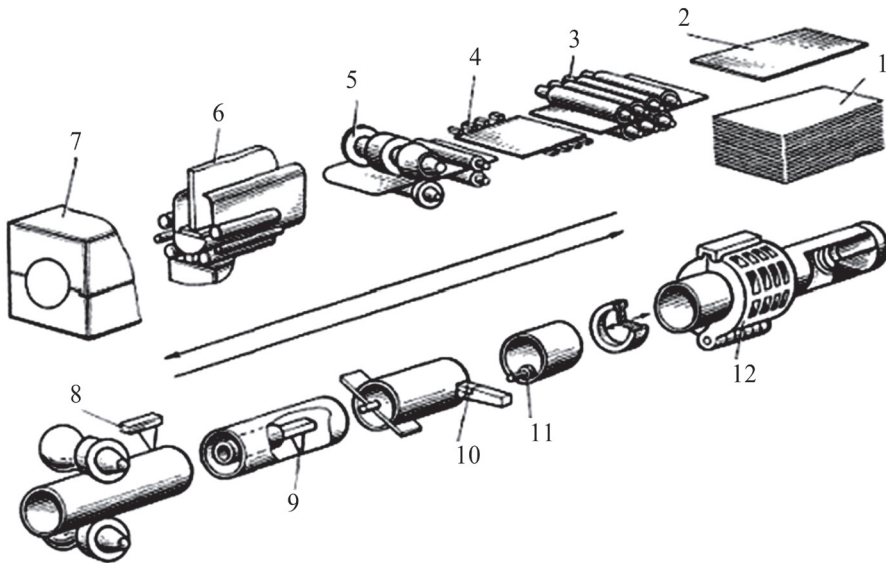


Рис. 66. Схема технологического процесса:

- 1 — складирование; 2 — задача листа; 3 — правка; 4 — строжка кромок;
 5 — подгибка кромок; 6 — предварительная формовка; 7 — окончательная
 формовка; 8 — сварка наружного шва; 9 — сварка внутреннего шва;
 10 — торцовка труб; 11 — фрезерование внутреннего шва;
 12 — раздача и гидроиспытание

6.3. Подготовка заготовки к формовке и сварке

Подача заготовки. Со склада заготовки лист подают листоукладчиком к правильной машине. Захват листа осуществляют либо с помощью электромагнитов, либо вакуумными устройствами. Величина подъемной силы электромагнитов (вакуумных устройств) регулируется так, чтобы листоукладчик захватывал только один лист.

Правка. Правку листа осуществляют с помощью девятивалковой правильной машины. Правкой достигается снижение волнистости и коробоватости листа, а также частичное взламывание и удаление прокатной окалины.

Обработка кромок. После правки лист поступает для обрезки кромок на кромкострогальные или фрезерные станки. Параллельность кромок и узкий допуск по ширине листа обеспечивают высокое качество формовки и сварки.

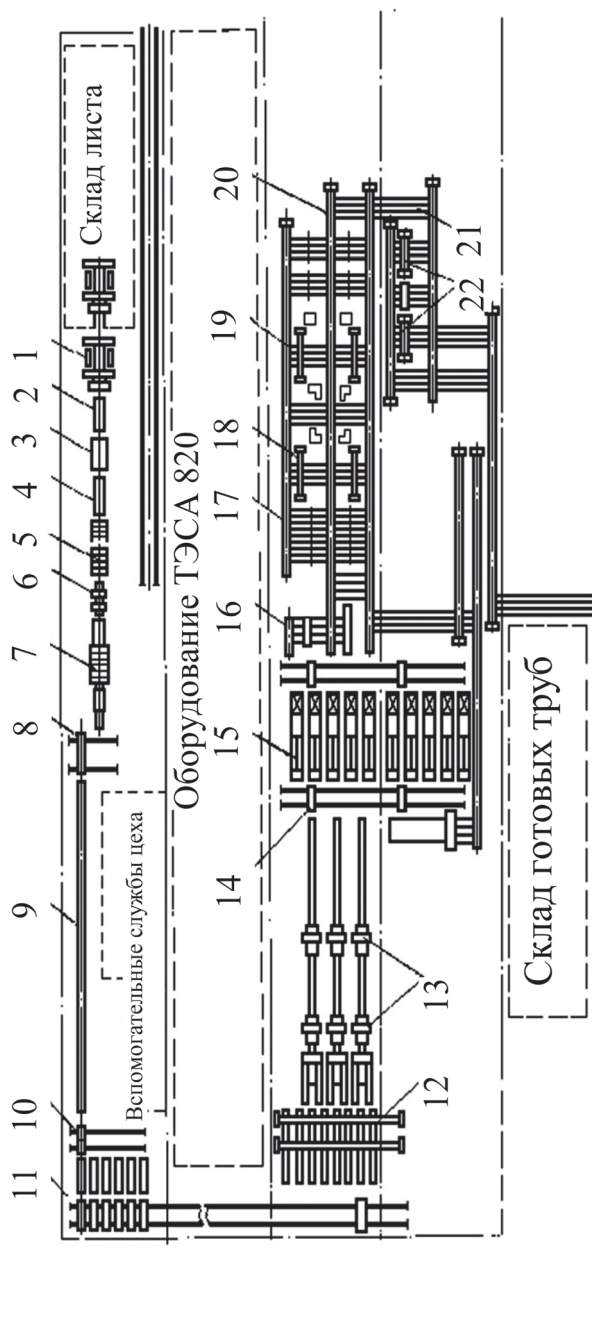


Рис. 67. Схема расположения оборудования:

- 1 — приемное устройство; 2 — машина зачистки листов; 3 — девятивалковая правильная машина; 4 — кромкострогальный станок; 5 — кромкогибочная машина; 6 — пресс предварительной формовки; 7 — пресс окончательной формовки; 8, 11 — передаточная тележка; 9 — транспортный ролланг; 10, 14 — распределительная тележка; 12 — приемное устройство; 13 — станы дуговой сварки наружных швов; 15 — станы дуговой сварки внутреннего шва; 16 — опрокидывающее устройство для удаления шлака; 17 — площадка ремонта труб; 18 — установка плазменной резки; 19 — гидропресс калибровки и испытания труб; 20 — ролланг; 21 — передаточная решетка; 22 — станки механической обработки торцов труб

Кроме того, кромкам листа придается требуемая для последующей сварки форма (рис. 68). Точность размеров фаски предопределяет высокое качество сварного шва.

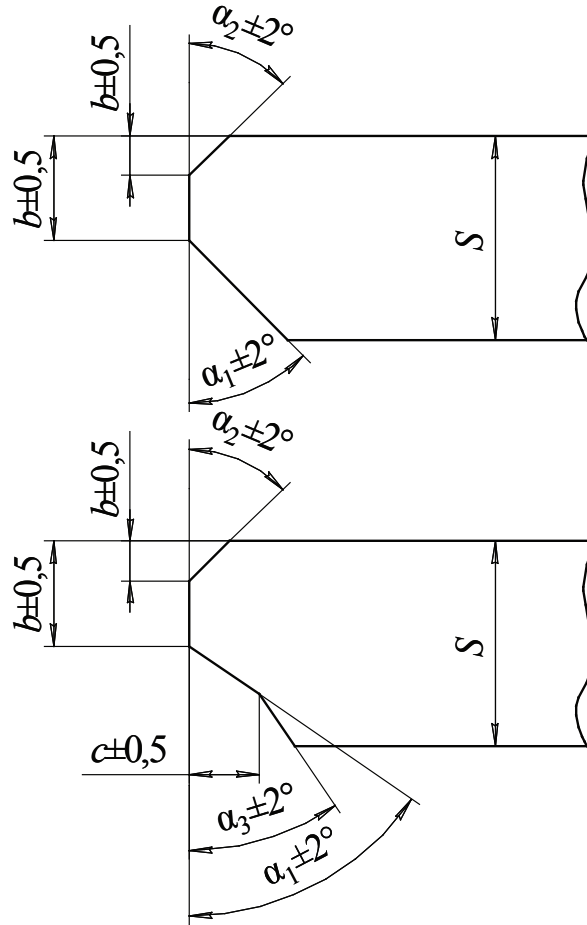


Рис. 68. Варианты обработки продольных кромок листовой заготовки

Строжку осуществляют путем движения листа относительно неподвижных резцов. Кромкострогальный станок имеет до 80 резцов, расположенных попарно по 40 с каждой стороны, в том числе 74 прямых и 6 угловых (фасочных).

Наилучшее качество обработки кромок обеспечивают фрезерные станки. При фрезеровании образуется легко удаляемая стружка. Кро-

ме того, фрезерные станки способны обрабатывать задний и передний торцы листов.

Очистка заготовки. Для получения качественного шва при сварке большое значение имеет чистота свариваемых кромок. Очистку листа осуществляют с помощью дробеструйных установок, машин с вращающимися стальными щетками, травлением листа.

Подгибка кромок листа. Кромки подгибаются так, чтобы их радиус был равен радиусу трубы после окончания процесса формовки. Это гарантирует, что расформовка профиля будет исключена.

Для подгибки кромок заготовки используют кромкогибочные станы или прессы. Способы подгибки кромок в кромкогибочном стане (а) и на прессе (б) показаны на рис. 69.

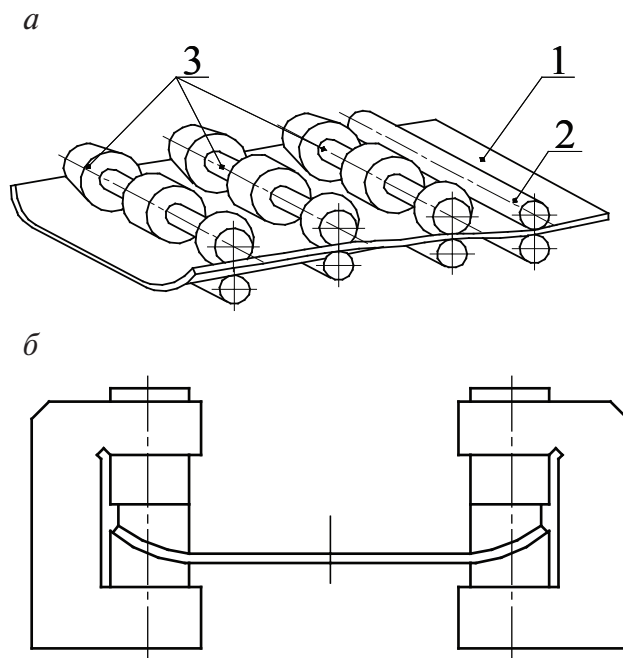


Рис. 69. Схема подгибки кромок:

1 — лист; 2 — клеть задающая; 3 — клетки формирующие

Способ подгибки кромок на кромкогибочном прессе обеспечивает более высокое качество формовки, поскольку он предотвращает удлинение кромок листа, являющееся побочным эффектом валкового метода. Однако прессы — сложные и дорогостоящие машины.

6.4. Формовка заготовки в трубу

Способ прессовой формовки УОЕ. Предварительная формовка заготовки производится на прессе усилием 5 ... 20 МН (2000 тс), где осуществляется изгиб ее средней части штампом — изгиб листа в U-образный профиль. Пресс для предварительной формовки состоит из двух сблокированных четырехколонных прессов, траверсы со штампами и роликов гибки, расположенных вдоль траверсы (рис. 70).

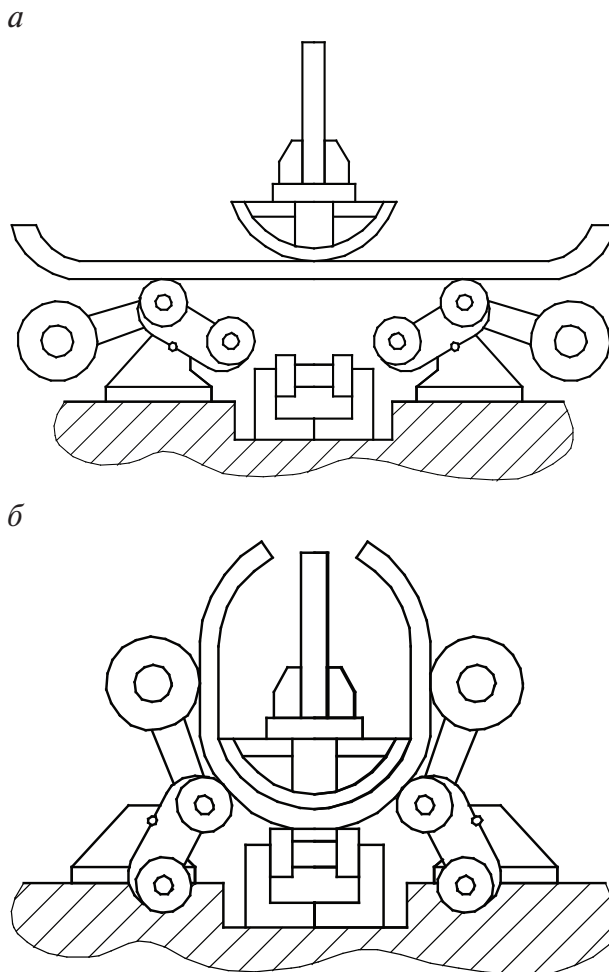


Рис. 70. Предварительная формовка трубной заготовки:
а — до формовки; б — после формовки

Окончательная формовка трубной заготовки производится на прессе усилием 60...170 МН (6000...17000 тс) с целью придания ей цилиндрической формы. В верхнем и нижнем штамподержателях прессы установлены полуцилиндрические вкладыши (полуштампы) (рис. 71).

Качество заготовок в значительной степени зависит от качества подготовки листа перед формовкой и оказывает существенное влияние на качество сварки труб.

Основные показатели качественной формовки: отсутствие зазоров и превышения кромок; прямолинейность и параллельность кромок; отсутствие резких перегибов (изломов) профиля заготовки и плоских участков вдоль кромок.

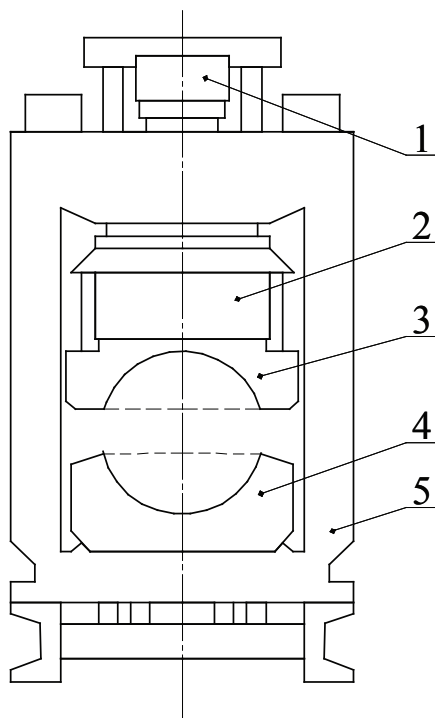


Рис. 71. Схема прессы для окончательной формовки трубной заготовки:

1 — гидроцилиндр; 2 — ползун; 3, 4 — штампы; 5 — станина

При окончательной формовке с целью получения заготовки точных размеров и уменьшения ее упругого распруживания процесс ведут

таким образом, чтобы в стенке заготовки возникли напряжения, превышающие предел текучести металла, то есть произошла пластическая деформация.

Пресс окончательной формовки состоит из шести двухколонных прессов. Штамп прессы окончательной формовки в закрытом виде представляет собой цилиндрическую полость с разъемом по диаметру в горизонтальной плоскости. В верхней части штампа по всей его длине обычно встраивается прямоугольная вставка, выполненная в виде шпонки, выступающей во внутреннюю полость штампа и служащей упором для кромок заготовки в процессе окончательной формовки.

После окончательной формовки заготовки производится гидробив окалины с ее поверхности (давление воды ~ 20 атм) и сушка горячим воздухом.

6.5. Сборка и сварка трубы

После сушки заготовки поступают на сборочно-сварочный стан, на котором кромки заготовок сводят встык так, чтобы зазор между ними не превышал 1 мм, и выравнивают по высоте таким образом, чтобы ни одна из кромок не превышала другую более чем на 0,1 толщины стенки. В таком положении кромки заготовки сваривают снаружи по всей длине технологическим швом. Наружный технологический шов фиксирует кромки сформованной трубы и предотвращает протекание расплавленного металла при последующем наложении внутреннего рабочего шва. При наложении наружного рабочего шва металл технологического шва переплавляется с металлом рабочего шва. Наружный и внутренний рабочие швы перекрывают друг друга на $1/3$ толщины стенки трубы. Для сварки наружных и внутренних швов используется сварочная проволока.

Наложение наружного шва. На одну линию формовки трубной заготовки установлено шесть сварочных станков для наложения наружного шва.

Известно два способа выполнения наружного шва. В первом способе заготовка движется под неподвижной сварочной головкой. Такие станы называются непрерывными.

Во втором способе заготовка неподвижна, а движется сварочная головка. Сварку осуществляют за один проход сварочной головки, а обратный ход ее является холостым. Такие станы называются проходными.

Начало и конец сварного шва (кратерные участки) выводят на технологические планки, которые приваривают на торцах заготовки перед ее подачей в стан.

Наложение внутреннего шва. На два стана наложения наружного шва установлено три стана наложения внутреннего шва.

Известно два способа выполнения внутреннего шва: наталкивание или стаскивание трубы относительно сварочной головки закрепленной на штанге.

Сварка наружного шва производится двухдуговой сварочной головкой под слоем флюса. Обе дуги горят в одну ванну. Мундштуки сварочных электродов расположены так: первый — под углом $70\ldots 90^\circ$ «углом назад», второй — под углом $40\ldots 50^\circ$ «углом вперед» к образующей трубы. На первой сварочной головке установлен вибратор дуги. Напряжение на первой дуге $40\text{--}50\text{ В}$, сила тока $800\text{--}1100\text{ А}$; на второй дуге напряжение $50\text{--}65\text{ В}$, сила тока $1050\text{--}1300\text{ А}$. Скорость сварки $110\text{--}190\text{ м/ч}$.

Сварка внутреннего шва производится двухдуговой сварочной головкой под слоем флюса. Мундштуки расположены следующим образом: первый — под углом $70\ldots 85^\circ$ «углом назад», второй — под углом $45\ldots 55^\circ$ «углом вперед». На первой дуге установлен вибратор. Режим сварки внутреннего шва иной: сила тока и скорость сварки на 10% меньше, а напряжение — больше, чем при сварке наружного шва.

После сварки трубы поступают на машину для очистки поверхности труб от остатков флюса, шлака и окалины.

Контроль качества и ремонт дефектов сварных швов производятся на ремонтных площадках, куда поступают трубы после сварки внутренних швов. На ремонтной площадке производят осмотр внутренней и наружной поверхности труб. При отсутствии дефектов труба направляется в технологический поток для дальнейшей обработки.

Ремонту подлежат следующие дефекты сварных швов: продольные и поперечные трещины, прожоги и протечи, шлаковые вклю-

ния и другие. Ремонт производят повторным наложением шва. Ремонтный шов должен перекрывать дефектный участок не менее чем на 50 мм в обе стороны.

6.6. Экспандирование и гидроиспытание труб, контроль сварных швов

Снятие усиления внутренних швов по концам труб производят на фрезерных станках, которые располагают в шахматном порядке, что позволяет фрезеровать валики швов двух труб. Усиление внутреннего шва должно быть снято на длине не менее 150 мм с обоих концов трубы.

Экспандирование и гидроиспытание труб. В процессе экспандирования труб на прессе-расширителе (раздачи внутренним гидравлическим давлением) осуществляется калибровка концов труб, правка труб и их гидроиспытание. Давление экспандирования — до 20 МПа. Раздача труб производится давлением воды с автоматическим его отключением при достижении укорочения длины трубы на (35 ± 5) мм.

Газонефтепроводные трубы после раздачи следует выдерживать под испытательным давлением в течение 30 с, с одновременным разовым обстукиванием 5...10 молотками массой 0,5...0,8 кг.

Контроль сварных швов. Трубы после экспандирования проходят 100 %-й автоматизированный ультразвуковой контроль металла сварных швов. При отсутствии в сварных швах недопустимых дефектов трубы направляют на торцовку и снятие фаски. При обнаружении недопустимых дефектов трубы возвращают на ремонтные площадки для исправления дефектов.

Торцовка труб и снятие фаски после экспандирования производится на трубоподрезных станках при неподвижной трубе и вращающихся резцах. Концы газонефтепроводных труб и труб общего назначения должны иметь фаски под углом 25...30 градусов.

Контроль концов сварного шва. После торцовки и снятия фаски трубы проходят рентгенотелевизионный контроль концов сварных швов. При обнаружении недопустимых дефектов в концевых участках сварных швов трубы возвращают на ремонтную площадку для обрезки дефектного участка плазменной резкой и выполнения последующих операций отделки и приемки.

Окончательная приемка, маркировка и складирование труб. Трубы, прошедшие все технологические операции, передаточным рольгангом передаются на площадку окончательной сдачи, на которой осуществляют следующие операции: измерение фактической длины труб; визуальный осмотр труб; проверка правильности клеймения труб; нанесение маркировки труб. Трубы складировать строго по размерам (диаметрам, стенкам), маркам и назначению.

6.7. Виды брака при производстве прямошовных труб большого диаметра

Дефекты при производстве прямошовных труб большого диаметра можно разделить на три группы [4].

Дефекты листа:

- вмятины — попадание стружки под прокатные валки;
- закат — раскатанная трещина по вдавленной окалине (на шлифе выявляется по обезуглероженному слою);
- раковины, расслоение — от газовых пузырей или неметаллических включений.

Дефекты формовки:

- превышение кромок — некачественная формовка или неправильная настройка стана наружной сварки;
- вмятины — попадание стружки под пуансон прессы или в валки кромкогибочного стана;
- гофры на продольной и поперечной кромках — неправильная формовка.

Дефекты сварки:

- пористость металла шва — обогащение сварочной ванны газами из атмосферы, основного и электродного металла, флюса H_2 ; N_2 ; O_2 ;
- трещины горячие и холодные: горячие трещины зарождаются при температуре кристаллизации металла шва ($1350\text{ }^{\circ}C$); холодные трещины образуются в околошовной зоне при температуре ниже $1200\text{ }^{\circ}C$ под действием остаточных напряжений;
- шлаковые и неметаллические включения в металле шва — в основном из флюса.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные технологические операции при производстве труб электросваркой?
2. Какое оборудование включает в себя трубоэлектросварочный агрегат?
3. Опишите состав оборудования агрегата продольной резки.
4. Каким образом осуществляется правка полосы?
5. Для чего используется подрезка кромок полосы?
6. Какие основные типы накопителей полосы используются в составе ТЭСА?
7. На каком стане осуществляется сварка трубы?
8. Для чего осуществляется калибрование и редуцирование труб?
9. Каковы основные операции при отделке и контроле качества электросварных труб?
10. Опишите основные способы формовки труб.

7. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ СО СПИРАЛЬНЫМ ШВОМ

Трубы со спиральным швом изготавливают диаметром от 159 мм до 2500 мм с толщиной стенки от 4 мм до 28 мм. Для изготовления труб используют полосу в рулонах из углеродистой или низколегированной стали. Трубы предназначены для строительства трубопроводов газа, нефти, нефтепродуктов, водопроводов, а также для сборных металлоконструкций.

Преимущества производства труб со спиральным швом следующие:

- возможность изготовления труб больших диаметров и любой длины из узкой, а значит, более дешевой рулонной полосы;
- возможность изготовления особо тонкостенных труб с отношением диаметра к толщине стенки свыше 100;
- повышенная конструкционная прочность труб, так как вследствие спирального расположения шва последний нагружен меньшими растягивающими напряжениями;
- высокая точность размеров труб по диаметру;
- простота оборудования и меньшие капитальные затраты, возможность максимального приближения производства труб к местам их потребления.

Недостаток способа — большая протяженность сварного шва.

На отечественных предприятиях установлены ТЭСА для производства спиралешовных труб диаметром 650, 1020, 1220, 1420, 1650...2500 мм.

7.1. Технологический процесс и состав оборудования

Технологический процесс производства спиралешовных труб состоит из следующих операций: разматывание рулона, правка полосы, обрезка концов рулонов, стыковка концов рулонов, образование петли для обеспечения непрерывности процесса, обрезка кромок, очистка кромок, снятие фасок на кромках полосы, формовка трубной заготовки, сварка наружного и внутреннего швов, резка трубы на заданные длины с последующей отделкой.

Схема расположения основного оборудования представлена на рис. 72.

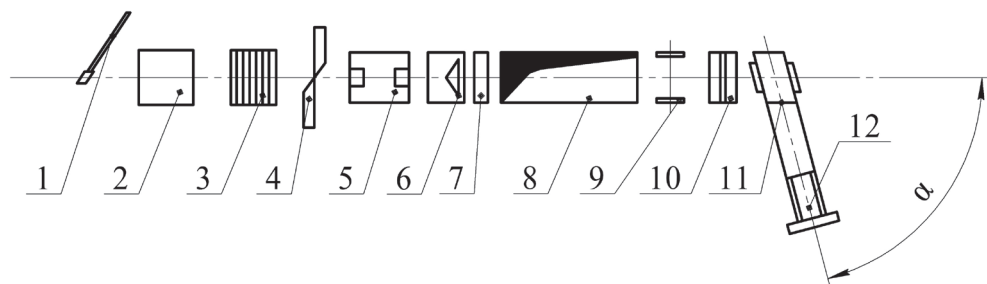


Рис. 72. Схема расположения основного оборудования:

- 1 — консольный кран; 2 — разматыватель рулона; 3 — правильная машина;
- 4 — ножницы поперечной резки; 5 — стыкосварочная машина;
- 6 — гратосниматель; 7 — тянущие (подающие) ролики; 8 — петлеобразователь;
- 9 — дисковые ножницы; 10 — подающие ролики; 11 — формующее устройство;
- 12 — подвижное отрезное устройство

Подготовительная линия от консольного крана (1) до подающих роликов (10) располагается стационарно, а формовочно-сварочная линия может изменять свое положение в зависимости от угла формовки α . Формовочная машина (11) смонтирована на поворотном круге, к которому прикреплен одним концом перемещающийся на катках по криволинейному пути (рельсам) регулируемый по высоте поворотный мост. На этом мосту установлены механизмы выходной стороны стана. Угол формовки находится в диапазоне $\alpha = 40 \div 66^\circ$, что соответствует отношению ширины полосы к диаметру трубы в пределах $2,35 \div 1,25$.

Известно несколько типов формующих устройств: втулочного, полувтулочного, роликового, валкового. Формующее устройство втулоч-

ного типа является жестким и обеспечивает получение трубы с высокой точностью; полуштулочного типа требует меньшего усилия *формовки*; роликового типа обладает меньшей жесткостью; валкового типа обеспечивает минимальное усилие формовки [8].

7.2. Формовочная машина валково-оправочного типа

На рис. 73 показана формовочная машина валково-оправочного типа ТЭСА 650. Формовка трубы осуществляется изгибом ленты тремя валками (1), расположенными один за другим, по вкладышам (3), установленным на неподвижной оправке (2). Вкладыши изготовлены из твердого сплава и отшлифованы. Подача ленты в формующую машину производится сверху валками (4). Точное направление ленты в формовочную машину обеспечивается роликовой проводкой (5). Готовая труба (6) имеет диаметр D и длину l . Участки А и Б обозначены на трубе.

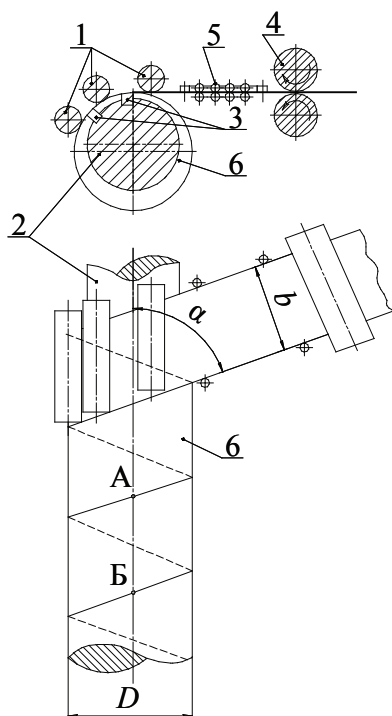


Рис. 73. Формовочная машина валково-оправочного типа:

1 — трехвалковый калибр; 2 — неподвижная оправка; 3 — вкладыш;
4 — валки подающей машины; 5 — роликовая проводка; 6 — готовая труба

Радиус сгиба ленты в формовочном калибре должен быть меньше, чем радиус готовой трубы (6), так как первый свободный виток пружинит и после формовки немного расходится. Поэтому первая сварочная головка производит сварку шва на втором витке в точке А. Вторая сварочная головка осуществляет частичную переварку первого шва с формированием валика усиления — через шаг спирали в точке Б. Из-за трудности размещения сварочной головки внутри трубы диаметром 250÷650 мм внутренний шов не сваривается.

На ТЭСА 1020 и 1420 применяется трехслойная сварка спирального шва. В месте схождения кромок ленты и первого витка трубы накладывается первый внутренний технологический шов, назначение которого — устранить возможность смещения кромок при наложении рабочих швов. Через полвитка после технологического шва накладывается наружный рабочий шов и через шаг спирали от первого внутреннего шва — второй внутренний рабочий шов, полностью переваривающий технологический шов. Сварка внутреннего шва осуществляется сварочным автоматом, состоящим из двух головок. Первая головка сваривает технологический шов (технологическая головка), а вторая головка сваривает внутренний рабочий шов (рабочая головка).

7.3. Формовочная машина втулочно-роликового типа

На рис. 74 показана формовочная машина втулочно-роликового типа. Полоса (1) роликами (2) по фиксатору уровня (7) подается во втулку (3) и изгибается по спирали, опираясь на шлифованные направляющие пояски (4) и ролики (5), (6). Фиксатор (7) и направляющие пояски наплавлены твердым сплавом и отшлифованы. При схождении кромок полосы — образовании первого витка трубы (точка А внизу трубы) — осуществляется сварка внутренних кромок первым технологическим швом с целью обеспечения устойчивости спирали при дальнейшем наложении рабочих швов. Через полвитка от точки А накладывается первый наружный рабочий шов (точка Б), а еще через полвитка — второй внутренний рабочий шов (точка В), при этом полностью переваривается первый внутренний технологический шов.

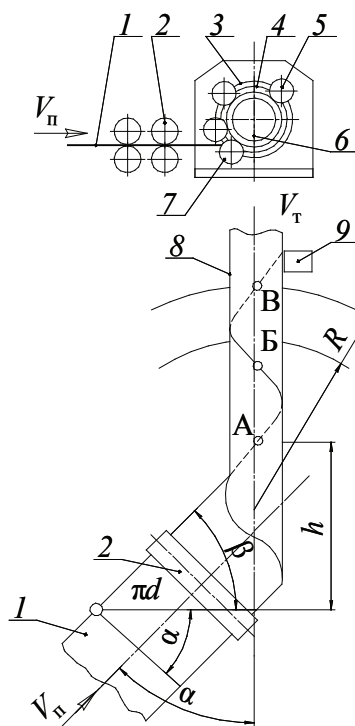


Рис. 74. Схема формовки спиральной заготовки трубы во втулочно-роликовой машине:

- 1 — полоса; 2, 5, 6 — ролики; 3 — шлифованные направляющие пояски;
7 — фиксатор уровня; 8 — труба; 9 — плазматрон

Дуговая сварка под слоем флюса осуществляется сварочным автоматом при применении электродной проволоки диаметром 3...5 мм и сварочного тока 350...2000 А при напряжении 20...56 В; источник питания — сварочный трансформатор. Сварка внутренних швов осуществляется сварочными головками, установленными на штанге, вводимой внутрь трубы.

7.4. Качество спиралешовных сварных труб

Качество спиралешовных сварных труб во многом определяется стабильностью процесса формовки трубной заготовки, что обеспечивается созданием условий, при которых свариваемые кромки трубных заготовок совмещаются без зазора и смещения одной относительно другой, а диаметр формуемых витков заготовки остается постоянным в пределах

минимально допустимых отклонений. Это обеспечивается конструкцией формующих устройств и регулированием процесса формовки с использованием средств автоматического контроля параметров формируемой полосы (заготовки). Для контроля качества спиралешовных труб производится 100 %-й контроль спиральных и поперечных швов с помощью ультразвуковых дефектоскопов и рентгенотелевизионных приборов.

При производстве спиралешовных труб имеют место следующие дефекты сварного шва: термические трещины, несквозные поры, газовые пузыри и неметаллические включения. После обнаружения дефектов их заваривают. Если это не помогает устранить дефект, то дефектное место отрезают так, чтобы оставшаяся часть трубы была не короче 6–7 м.

При формовке и сварке труб основными видами брака являются: превышение кромок, задиры и вмятины, непровары, прожоги, смещение шва.

7.5. Определение рационального угла формовки

Формовка трубной заготовки осуществляется путем пластического изгиба полосы в плоскости, расположенной под углом α к продольной оси листа (рис. 74). Угол α называют углом формовки. Из полосы шириной b можно получить трубы различного диаметра, свертывая ее в спираль под различными углами α [8].

Как видно из рис. 74, ширина полосы b , свернутой в спираль с шагом h под углом α , связана с диаметром спиралешовной трубы d :

$$b = \pi d \cos(\alpha); d = \frac{b}{\pi \cos(\alpha)}; d_{\pi} = \frac{b}{\pi}; d = \frac{d_{\pi}}{\cos(\alpha)}; h = \frac{b}{\sin(\alpha)}.$$

Если $\alpha = 0^\circ$, то $d = d_{\pi}$. Если $\alpha = 60^\circ$, то $d = 2d_{\pi}$. То есть из полосы шириной b при угле формовки $\alpha = 60^\circ$ можно изготовить спиралешовную трубу диаметром в два раза больше, чем диаметр прямошовной трубы.

Влияние угла формовки на напряжение в сварочном шве. Рассмотрим трубу в условиях ее эксплуатации. В тонкостенных трубах под действием внутреннего давления p возникают σ_θ окружные и σ_x продольные напряжения, причем $\sigma_x \approx \frac{\sigma_\theta}{2}$.

При двухосном напряженном состоянии элемента трубы (рис. 75) нормальное напряжение в шве σ_α будет равно

$$\sigma_{\alpha} = \frac{1}{2}(\sigma_{\theta} + \sigma_x) + \frac{1}{2}(\sigma_{\theta} - \sigma_x)\cos(2\alpha),$$

где $\sigma_{\theta} = \frac{pD}{2S}$; $\sigma_x = \frac{\sigma_{\theta}}{2} = \frac{pD}{4S}$.

Тогда

$$\sigma_{\alpha} = \frac{pD}{8S}(3 + \cos(2\alpha)),$$

где D, S — диаметр и толщина стенки трубы; α — угол формовки.

Как видно, напряжение в спиральном шве меньше, чем в продольном, и зависит от угла формовки. Зависимость $\frac{\sigma_{\alpha}}{\sigma_{\theta}}$ от угла формовки показана на рис. 76.

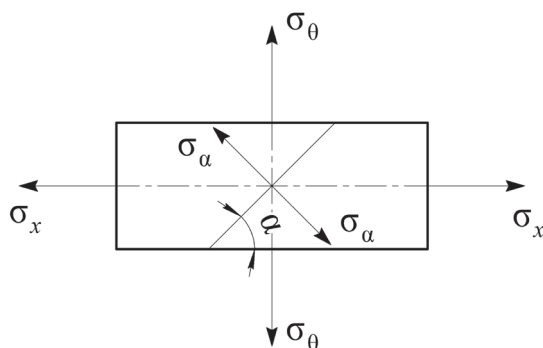


Рис. 75. Схема напряжений в элементе и сварочном шве трубы

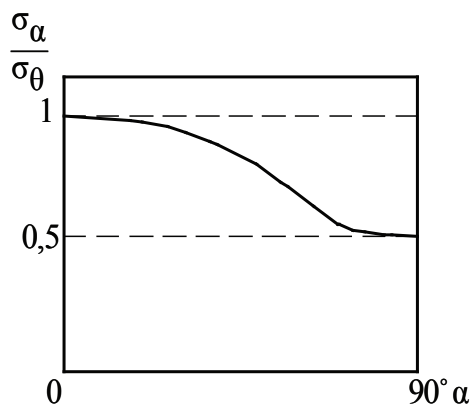


Рис. 76. Зависимость $\sigma_{\alpha}/\sigma_{\theta}$ от угла формовки

Увеличение угла формовки снижает напряжение в сварочном шве, позволяет иметь большее давление p при такой же толщине стенки S , как в трубах с продольным швом.

Однако чем больше угол формовки, тем ниже скорость выхода трубы из стана: $V_{\text{сп}} = V_{\text{п}} \cos(\alpha)$, а значит, ниже производительность агрегата (рис. 77).

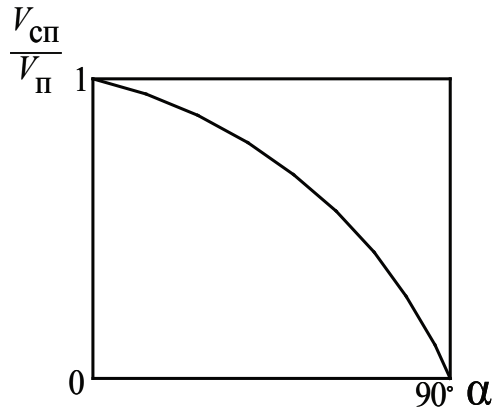


Рис. 77. Зависимость $V_{\text{сп}}/V_{\text{п}}$ от угла формовки

Выбор рационального угла формовки. Качество спиралешовных труб во многом зависит от величины ребровой кривизны листа (серповидности). При постоянном значении ширины полосы диаметр трубы и шаг спирали зависят от угла формовки α . Угол формовки изменяется в зависимости от величины серповидности листа. Из-за серповидности полосы угол α в процессе формовки варьируется. При варьировании угла формовки (при $b = \text{const}$) изменяется диаметр D и шаг спирали h . Рациональным значением угла α считают такое, при котором относительные изменения шага спирали и диаметра будут соизмеримыми. На рис. 78 показано соотношение между этими приращениями в зависимости от угла формовки. Как видно, соизмеримость достигается при $\alpha = 56^\circ$. Если принять, что допустимые изменения ΔD и Δh не должны более чем в двое превышать свои значения при $\alpha = 56^\circ$, то рациональные углы формовки будут равны $40^\circ \dots 66^\circ$. Этот диапазон изменения угла формовки принят в отечественных станах при производстве спиралешовных труб. При этих углах формовки отношение ширины полосы b к диаметру D составляет $2,35 \dots 1,25$, а напряжение σ_α в сварном шве будет иметь значения $(0,76 \dots 0,4) \sigma_0$.

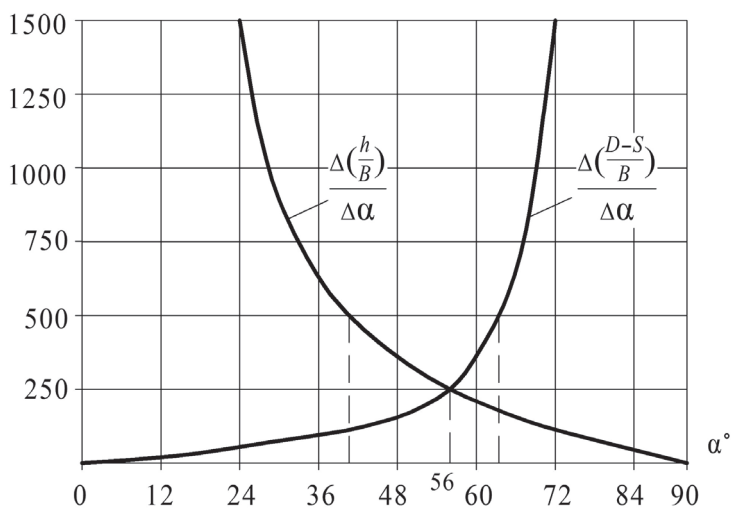


Рис. 78. Определение рационального угла формовки

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы размеры спиралешовных труб?
2. Опишите преимущества производства труб со спиральным швом.
3. Из каких операций состоит технологический процесс производства спиралешовных труб?
4. Опишите процесс производства спиралешовных труб на формовочной машине валково-оправочного типа.
5. Опишите процесс производства спиралешовных труб на формовочной машине втулочно-роликового типа.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Тарнавский В. Куда ведет труба? Текущие тенденции на мировом рынке труб // Металлоснабжение и сбыт. 2018. № 5. С. 112–116.
2. Трубное производство / Б. А. Романцев [и др.]. М. : Дом МИСиС, 2011. 970 с.
3. Структура сварных соединений [Электронный ресурс] // Металлургический портал. URL: <http://stalevarim.ru/pub/struktura-svarnyh-soedineniy/> (дата обращения: 20.04.2019).
4. Технология трубного производства / В. Н. Данченко [и др.]. М. : Интерметинжиниринг, 2002. 640 с.
5. Технология производства электросварных труб / Ю. М. Матвеев [и др.]. М. : Металлургия, 1967. 163 с.
6. Матвеев Ю. М., Ваткин Я. Л. Калибровка инструмента трубных станов. М. : Металлургия, 1970. 478 с.
7. Скрипкин А. Совершенствование процесса производства прямошовных электросварных труб // CADmaster. 2007. № 3. С. 40–41.
8. Машины и агрегаты трубного производства : учеб. пособие / А. П. Коликов [и др.]. М. : МИСИС, 1998. 536 с.
9. Шевакин Ю. Ф., Глейберг А. З. Производство труб. М. : Металлургия, 1968. 440 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ	8
1.1. Основные способы соединения металлов.....	8
1.2. Физические основы сварки металлов	9
1.3. Связь между давлением и температурой сварки	11
1.4. Тепловые процессы и структурные изменения в металле при сварке.....	12
1.5. Классификация способов сварки труб	15
Вопросы для самоконтроля	16
2. СПОСОБЫ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ТРУБ	17
2.1. Сварка труб токами высокой (радиотехнической) частоты.....	17
2.2. Индукционная сварка труб.....	20
2.3. Сварка труб сопротивлением.....	23
2.4. Аргоно-дуговая сварка труб.....	25
2.5. Микроплазменная сварка труб.....	28
2.6. Электронно-лучевая сварка труб.....	30
2.7. Лазерная сварка труб.....	31
2.8. Дуговая сварка под слоем флюса	34
Вопросы для самоконтроля	35
3. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА	36
3.1. Однорядная калибровка валков	38
3.2. Двухрядная калибровка валков (с подгибкой кромки)	40
3.3. Калибровка валков с плоским центральным участком (дном).....	42

3.4. Двухрадиусная калибровка валков с изгибом центрального участка	43
3.5. Овальная калибровка валков (по кривым второго порядка)	44
3.6. Технологичность калибровки	45
3.7. Причины образования гофров на кромках полосы	46
3.8. Совершенствование способов формовки	48
Вопросы для самоконтроля	50
4. РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ФОРМОВОЧНОГО СТАНА	51
4.1. Исходные данные для расчета калибровки	51
4.2. Калибровка горизонтальных валков	52
4.3. Калибровка вертикальных (эджерных) валков	56
Вопросы для самоконтроля	60
5. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА НА НЕПРЕРЫВНЫХ ТЭСА	61
5.1. Технологический процесс и состав оборудования	61
5.2. Раскрой заготовки на агрегате продольной резки	63
5.3. Правка полосы	64
5.4. Подрезка кромок полосы	65
5.5. Накопители полосы	66
5.6. Формовка полосы в трубу	68
5.7. Сварка сформованного профиля в трубу и удаление грата	70
5.8. Калибрование трубы и горячее редуцирование трубы	71
5.9. Отделка и контроль качества электросварных труб	71
Вопросы для самоконтроля	72
6. ПРОИЗВОДСТВО ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА	73
6.1. Способы формовки трубной заготовки	73
6.2. Технологический процесс производства труб с прессовой формовкой листа — УОЕ-процесс	78
6.3. Подготовка заготовки к формовке и сварке	79
6.4. Формовка заготовки в трубу	83
6.5. Сборка и сварка трубы	85

6.6. Экспандирование и гидроиспытание труб, контроль сварных швов.....	87
6.7. Виды брака при производстве прямошовных труб большого диаметра	88
Вопросы для самоконтроля	89
7. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ СО СПИРАЛЬНЫМ ШВОМ.....	90
7.1. Технологический процесс и состав оборудования	91
7.2. Формовочная машина валково-оправочного типа.....	92
7.3. Формовочная машина втулочно-роликового типа.....	93
7.4. Качество спиралешовных сварных труб.....	94
7.5. Определение рационального угла формовки.....	95
Вопросы для самоконтроля	98
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК	99

Учебное издание

Серебряков Александр Васильевич
Павлов Дмитрий Андреевич

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ ТРУБ

Редактор *Т. Е. Мерц*
Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 10.03.2020. Формат 70×100 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 8,4.
Уч.-изд. л. 4,5. Тираж 30 экз. Заказ 18.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: +7 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>



СЕРЕБРЯКОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением».

Основное направление научной работы – создание новых технологий производства холоднодеформированных труб специального назначения с высокими требованиями к качеству поверхности и точности размеров.

Добился существенных результатов в решении проблемы адгезионного взаимодействия металла с инструментом и создании технологического процесса производства холоднодеформированных труб с субмикронной чистой поверхностью канала.

Получил 27 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Автор более 50 печатных работ.



ПАВЛОВ ДМИТРИЙ АНДРЕЕВИЧ

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением».

Читаемые дисциплины: «САПР технологических процессов обработки металлов давлением», «Технология трубного производства» и др.

Научная деятельность направлена на совершенствование процессов винтовой и продольной прокатки труб, изучение процессов производства сварных труб, а также исследования в области определения физико-механических свойств материалов.

Научно-технические результаты его работы опубликованы в ведущих зарубежных и российских научных журналах и защищены патентами.